

A Nuclipedia

Maria do Carmo Avelar Duarte Nunes

**Trabalho de Projeto de Mestrado em
Comunicação de Ciência**

Março de 2013

Trabalho de Projeto apresentado para cumprimento dos
requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em
Comunicação de Ciência realizado sob a orientação científica da
Doutora Ana Sánchez

À memória dos meus pais

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho contou com a colaboração de um conjunto de pessoas a quem gostaria de demonstrar o meu apreço. Sem os seus conselhos e sugestões o resultado teria sido, sem dúvida, menos completo.

Em primeiro lugar começo por agradecer à minha orientadora, Doutora Ana Sánchez, pela sua disponibilidade e paciência em corrigir, comentar e sugerir ideias para o aperfeiçoamento deste projeto.

Agradeço igualmente aos Professores Carlos Varandas e Maria Emília Manso do IST pelo incentivo e pelos pertinentes comentários, especialmente na elaboração da parte científica do trabalho.

O meu obrigada aos colegas e colaboradores do IPFN e CTN pela cedência de diverso tipo de informação que permitiu enriquecer o conteúdo do documento.

Um agradecimento vai também para todos os meus professores do mestrado na FCSH com os quais muito aprendi.

Por último, quero agradecer ao Rui e à Inês pelo apoio que me deram nos momentos de dúvida e de desânimo, e em especial ao Fernando pelas discussões e encorajamento que tornaram possível a concretização deste objetivo.

A todos obrigada!

A NUCLIPEDIA

MARIA DO CARMO AVELAR DUARTE NUNES

RESUMO

Dá-se o nome genérico de fenómenos nucleares às alterações na estrutura dos núcleos dos átomos. Estas alterações podem ser naturais ou induzidas e manifestam-se através da emissão de radiações (radioatividade) e da libertação de energia.

A divulgação do nuclear junto do público é importante para esclarecer e eliminar preconceitos ligados a esta área científica, em particular devidos ao lançamento das bombas atómicas americanas sobre o Japão (Hiroshima e Nagasaki) em 1945, às experiências militares realizadas por vários países a partir do fim da segunda guerra mundial e aos acidentes ocorridos em centrais nucleares nos últimos anos. Importa mostrar que os fenómenos nucleares estão presentes no nosso quotidiano e que as tecnologias nucleares desempenham um papel muito importante para o desenvolvimento sustentável da nossa sociedade, nomeadamente na produção de energia, saúde, indústria, ambiente, agricultura e até na preservação do património cultural.

O presente trabalho tem por objetivo implementar uma estratégia de comunicação das tecnologias nucleares, no sentido de estreitar o diálogo entre esta área científica e a sociedade, apostando no envolvimento interativo de organizações de investigação, ensino, divulgação de ciência, produção de conteúdos audiovisuais e órgãos de comunicação social.

Na primeira parte do trabalho apresenta-se uma resenha sobre a evolução do conhecimento do átomo ao longo dos tempos, culminando nas descobertas dos efeitos da fissão e da fusão nucleares. Na segunda parte analisam-se os problemas e a perceção das sociedades mundial e portuguesa sobre a utilização do nuclear. Na terceira parte faz-se uma reflexão sobre a divulgação atual desta área científica a nível internacional e nacional, com vista a analisar as limitações da informação disponibilizada pelas várias organizações. A última parte do trabalho é dedicada à apresentação da proposta de um plano de comunicação via internet, designado Nuclipedia (por analogia com a wikipedia). Mostra-se como, através de um portal, é possível aglomerar uma vasta gama de informação sobre ciência e tecnologias nucleares, acessível e extensiva a vários públicos-alvo.

PALAVRAS-CHAVE: Nuclear, fissão/cisão, fusão, energia, comunicação, público-alvo.

THE NUCLIPEDIA

ABSTRACT

Nuclear phenomena concern generically the changes of structure of the atoms nuclei. These changes may be natural or induced and manifest themselves as radiation emissions (radioactivity) and energy release.

The dissemination of the nuclear among the public is important to clarify and eliminate preconceived ideas connected to this scientific area, particularly due to the drop of American atomic bombs over Japan (Hiroshima and Nagasaki) in 1945, the military experiences carried out by several countries after the second world war, and the accidents occurred in nuclear plants in the past years. It is important to show that the nuclear phenomena are present in our daily lives and the nuclear technologies play a very significant role to the sustainable development of our societies, namely in energy generation, health, environment, agriculture, and even in the preservation of cultural heritage.

The current work aims to implement a communication strategy for the nuclear technologies, in the sense of tightening the dialog between this scientific area and society, betting in the interactive involvement of research organizations, teaching, science dissemination, production of audiovisual contents, and media.

In the first part of the work I present a description on the evolution of knowledge about the atom along the ages, culminating in the discovery of nuclear fission and fusion effects. In the second part, the problems and the perception of the world and Portuguese societies about the use of the nuclear are analysed. In the third part, a reflection is performed on the current dissemination of this scientific area in international and national scenarios, aiming at analysing the limits of the information provided by several organizations. The last part of the work is dedicated to the presentation of a proposal for a communication project via internet, denoted by Nuclipedia (by analogy with Wikipedia). It is shown, through a site, that it is possible to gather a large amount of information about nuclear science and technology, which may be easily accessible and extensive to several target publics.

KEYWORDS: Nuclear, fission/scission, fusion, energy, communication, target public.

ÍNDICE

Introdução.....	1
Capítulo 1 - A questão do nuclear	7
1. 1. O átomo	7
1. 2. Reações nucleares	10
1.2.1. Reação de fissão ou cisão nuclear	11
1.2.2. Reação de fusão nuclear	12
1. 3. Energia nuclear	13
1.3.1. Energia nuclear tradicional – fissão ou cisão	14
1.3.2. Energia nuclear alternativa – fusão	16
1.3.3. Comparação entre formas de produção de energia	18
1. 4. Outras aplicações do nuclear	20
1.4.1. Medicina nuclear	20
1.4.2. Aplicações na agricultura	21
1.4.3. As radiações e os materiais: interações proveitosas	21
1.4.4. Aplicações de técnicas nucleares no património cultural	22
1. 5. Vigilância e proteção radiológica do ambiente	22
Capítulo 2 - O nuclear e a sociedade.....	25
2. 1. Perspetiva económica	25
2. 2. Perspetiva ambiental.....	29
2.2.1. Proteção radiológica	29
2.2.2. Lixo nuclear	31
2.2.3. Acidentes nucleares	32
2. 3. Perceção do público sobre a energia nuclear	35
2.3.1. Imagem veiculada pelas autoridades	35
2.3.2. Imagem através dos media	35
2.3.3. O nuclear nos ecrãs	37
2.3.4. Contestação ao nuclear	38
Capítulo 3 – Estratégias de comunicação do nuclear	41
3. 1. Introdução	41
3. 2. Divulgação do nuclear em Portugal	41
3.2.1. Primeiros passos	41
3.2.2. Ciência Viva	41
3.2.3. CTN/IST	42
3.2.4. IPFN	43

3.2.5. O nuclear e a escola	45
3. 3. Divulgação do nuclear no mundo	46
3.3.1. IAEA	46
3.3.2. EURATOM	46
3.3.3. Culham Center of Fusion Energy	47
Capítulo IV – Nuclipedia: uma alternativa à comunicação do nuclear	53
4. 1. O projeto Nuclipedia	53
4.1.1. Objetivo	53
4.1.2. Estrutura da Nuclipedia	56
4.1.3. Divulgação	58
4. 2. Execução do projeto	58
4.2.1. Identificação da entidade executora	58
4.2.2. Parceiros do projeto	58
4.2.3. Descrição das atividades	60
4. 3. Impacto esperado nos diversos públicos-alvo	70
Conclusão	73
Bibliografia	75
Lista de Figuras	79
Lista de Tabelas.....	80
Anexo I - Quadro periódico dos elementos e tabela internacional dos pesos atômicos	i
Anexo II - Escala INES	iii
Anexo III - Objetos de ensino e objetivos de aprendizagem.....	iv
Anexo IV – Datas relevantes.....	vii

LISTA DE ABREVIATURAS

CCFE – Culham Center of Fusion Energy

CTN/IST – Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico

EC'IPFN – Equipa de Comunicação do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear

EFDA – European Fusion Development Agreement

EURATOM – European Atomic Energy Community

IAEA – International Atomic Energy Agency

INES – International Nuclear and Radiological Event Scale

IPFN – Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear

ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor

ITN – Instituto Tecnológico e Nuclear

JET – Joint European Torus

SPF – Sociedade Portuguesa de Física

INTRODUÇÃO

Este trabalho visa implementar um plano de comunicação, no Instituto Superior Técnico (IST), na área das tecnologias nucleares, designado por “Nuclipedia”, enquadrado no trabalho de Projeto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Comunicação de Ciência.

A autora considerou esta temática pertinente na medida em que, na atualidade, as sociedades são marcadas por impactos positivos e negativos das aplicações da ciência e da tecnologia, algumas das quais revelam-se como dilemas éticos. Numa sociedade democrática, os cidadãos poderão e deverão participar nos processos de decisão sobre temáticas controversas. Sendo assim, um elevado nível de literacia científica das populações é importante no que diz respeito: (i) ao desenvolvimento económico do país; (ii) ao apoio de políticas públicas de ciência; (iii) às expectativas dos cidadãos; e (iv) à influência sobre os decisores políticos (Azevedo, 2009).

Nos anos 80 a questão da cultura científica ganha uma nova acuidade. Um relatório da Royal Society publicado em 1985 diagnostica na sociedade britânica níveis acentuados de desconhecimento, desconfiança e mesmo hostilidade face à ciência, alertando para a necessidade de promover os conhecimentos científicos na população, de debater ciência no parlamento, de difundir a ciência na imprensa e de ensinar os cientistas a comunicar (Gregory, 1998). É então criado o COPUS “Committee on the Public Understanding of Science” (Durant, 1998), enquanto são retomados os inquéritos à literacia científica (Lewenstein, 1995) e desenvolvidas várias medidas de promoção da educação científica formal e informal. O exemplo do governo britânico é seguido noutros países e mesmo ao nível de organismos transnacionais, como a União Europeia (com iniciativas como o Concurso Europeu de Jovens Cientistas, a Semana Europeia de C&T, as sondagens do Eurobarómetro, o Plano de Ação Ciência e Sociedade ou uma linha específica de financiamento no VI Programa Quadro).

Verifica-se que, nestas últimas décadas, o discurso justificativo da promoção da cultura científica, apesar de manter a vertente económica, tende a centrar-se mais sobre a dimensão política: “a cidadania democrática numa sociedade moderna depende, entre

outras coisas, da capacidade de os cidadãos compreenderem, criticarem e usarem ideias e postulados científicos. As aplicações da ciência levantam questões éticas e sociais com que o governo e a indústria têm de lidar através de formas que assegurem a confiança pública” (House of Lords, 2000, c1). Considera-se que os cidadãos necessitam de deter conhecimentos científicos básicos, tanto para a sua vida quotidiana (para lidarem com as inúmeras aplicações tecnológicas que os rodeiam ou para tomarem decisões de consumo informadas) como para a sua participação política, isto é, na escolha de representantes, na mobilização em ações de protesto face a riscos, na integração em processos de consulta pública, estudos de impacto ambiental, iniciativas de democracia direta, conferências de consenso, etc. (Cozzens, 1995; Gregory, 1998; Irwin, 1998; Barry, 2001; Costa, Ávila e Mateus, 2002). Em boa medida, graças ao contributo dos estudos sociais da ciência, a orientação das iniciativas de promoção da cultura científica tem vindo a sofrer alguma alteração. Se, nos anos 80 e 90, imperou o chamado “modelo de défice”, sustentado nos inquéritos à literacia científica, que postulava que a desconfiança na ciência se devia à ignorância do público e bastava “educá-lo” para modificar as suas atitudes (Gregory, 1998; Irwin, 1998; Wynne, 1995; Costa, 2002), atualmente já é visível algum esforço de promoção do diálogo bidirecional entre cientistas e público, de apresentação de uma visão menos uniforme e positivista da ciência, e de aumento da participação da população no processo de tomada de decisão em matérias técnico-científicas (Delicado, 2006).

Apesar da relevância atribuída à escola na promoção da alfabetização científica e tecnológica dos alunos, diversos autores destacam o papel desempenhado por agentes de educação não-formal (museus, centros de ciência, clubes de ciência, televisão, jornais, *Internet*, centros de investigação, etc.) no cumprimento deste objetivo (Martins, 2002; Wellington, 1991). A aprendizagem não-formal desenvolve-se dentro ou fora da escola, permitindo uma maior autonomia do aluno na gestão da sua aprendizagem. A União Europeia reconhece o valor da educação não-formal ao nível da sociedade, da economia e dos jovens, sendo um instrumento eficaz do processo educativo (Consejo de Europa, 2006).

Enquanto que a educação científica formal é, frequentemente, entendida pelos alunos como difícil, maçadora e desfasada dos seus interesses e necessidades (Millar, 1998; Santos, 1994), as experiências não-formais conseguem cativar a atenção e o interesse de muitos estudantes. A maior parte da educação científica formal centra-se na ciência

convencional, não-controversa, estabelecida e fidedigna, enquanto que a não-formal pode servir para despertar nos alunos o gosto e a vontade de aprender ciência (Valente, 1996).

Neste âmbito, o projeto Nuclipedia pretende ser uma ferramenta interativa e pedagógica, surgindo como um contributo para o conhecimento do público em geral e até para a prática letiva no ensino secundário. Isto, porque os novos programas curriculares de física e de química para o ensino secundário foram elaborados segundo uma perspetiva de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Esta perspetiva começou a consolidar um determinado tipo de soluções para fazer face ao que a maior parte dos educadores vêem como a crise na ciência escolar, isto é, a disjunção entre a ciência escolar e o tipo de formação científica requerida pelos cidadãos de uma sociedade pós-industrial. A National Science Teachers Association (NSTA, 1990) define CTSA como o ensino e a aprendizagem da ciência no contexto da experiência humana.

Segue-se uma breve descrição dos capítulos do presente trabalho.

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta “A questão do nuclear”, desde o átomo até à fusão nuclear. O leitor ficará a conhecer a importância de promover esta área científica/tecnológica que, aliada a outros ramos do saber, pode ajudar a resolver alguns dos maiores problemas com que a humanidade se defronta, nomeadamente, a satisfação das crescentes necessidades de energia sem danificar o ambiente, e o diagnóstico e tratamento de doenças, para além de diversas aplicações em áreas tão díspares como a agricultura e a arqueologia.

No segundo capítulo, intitulado “O nuclear e a sociedade”, faz-se, em primeira instância, uma análise da perceção da população, quer mundial quer portuguesa, sobre os aspetos económicos, ambientais e de segurança do nuclear, não esquecendo as conceções sobre a energia nuclear. É também abordado a maneira como os media veiculam este assunto.

“Estratégias de comunicação do nuclear” é o título do terceiro capítulo. Neste ponto é abordado o ‘estado da arte’, isto é, o que tem sido feito para divulgar as questões do nuclear, quer no mundo quer em Portugal.

O projeto de comunicação, isto é, a descrição, execução e promoção do mesmo são apresentados no quarto capítulo, intitulado “Nuclipedia: o modelo de comunicação alternativo”.

Por último, na conclusão faz-se uma reflexão sobre os capítulos anteriores do trabalho e constata-se que é urgente e pertinente implementar-se um plano de comunicação (Nuclipedia) nesta área científica/tecnológica. São também enunciadas algumas sugestões para projetos futuros em comunicação de ciência.

Os assuntos tratados no primeiro capítulo correspondem às seguintes secções chave da Nuclipedia: fundamentos das ciências nucleares e aplicações do nuclear. Os tópicos abordados no segundo capítulo correspondem essencialmente à secção chave: o nuclear e a sociedade. O terceiro capítulo estabelece a ligação entre o estado atual do conhecimento, disperso por diversas fontes de informação, e o objetivo primordial que preside à elaboração da Nuclipedia – o propósito de juntar num portal a informação existente sobre o nuclear.

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa bibliográfica, enriquecida com algumas entrevistas quer a cientistas nas áreas das tecnologias nucleares e das ciências sociais, quer a professores de física e química do ensino secundário.

“O Homem cria minúsculos pedaços de estrelas que realizam as condições excepcionais de radiação e de pressão intra-estelares. Esta capacidade de criação, considerada em si própria, poderia passar por um prodígio e uma maravilha de engenho; e, realmente o caso não é para menos: é preciso ser-se físico nuclear, ter estudado muito tempo a ciência quase abstrata que se desenvolve num mundo ultramicroscópico, para compreender a que ponto pode chegar o poder do espírito humano. Se pensarmos que bastaram alguns anos de estudo para que se conseguisse reacender o fogo das estrelas, ficaremos com a medida de tudo o que há a esperar do Homem” (Martin,1955).

CAPÍTULO 1 – A QUESTÃO DO NUCLEAR

“Vivemos o nosso quotidiano sem entendermos quase nada do mundo” (Carl Sagan)

1.1. O átomo

Atômico, atomizado, energia atômica, relógio atômico, bomba atômica; a Humanidade está mergulhada no atômico (Allègre, 2005). O adjetivo, derivado do substantivo “átomo”, refere-se quer ao terror (a bomba), quer ao progresso (a energia, o relógio).

A palavra átomo deriva do Grego *atomos* que significa indivisível. Enquanto que a ciência, nomeadamente a física moderna, retomou o antigo conceito de átomo para designar os elementos básicos que constituem a estrutura molecular da matéria, a filosofia (nomeadamente a antiga doutrina do atomismo) atribuiu ao átomo o significado de elemento material primitivo cujas diversas combinações formam as coisas e os seres.

O átomo é bem o símbolo da modernidade, o cerne da explicação “moderna” do mundo. E, no entanto, a noção de átomo remonta a mais de dois mil anos. Demócrito afirmou 400 anos antes de Cristo que a matéria seria constituída por átomos que apresentariam formas múltiplas e cores variadas. Cada tipo de átomo corresponderia a uma substância diferente, dotada de propriedades distintas. Os átomos estariam dotados de movimentos de agitação perpétuos e deslocar-se-iam nos vazios do espaço. Estes movimentos seriam aleatórios e desordenados. Posteriormente Aristóteles refutou as ideias de Demócrito, argumentando que o movimento aleatório não poderia produzir qualquer forma de objeto. Considerava, ao invés, que a matéria seria contínua e por conseguinte nela não haveria lugar para o vazio. Aristóteles adotou a teoria de Empédocles: a matéria seria composta por quatro elementos – o Fogo, o Ar, a Terra e a Água. Estes quatro elementos combinar-se-iam para darem as quatro qualidades fundamentais da matéria: o calor e o frio, o seco e o húmido (Democrito, in infopédia).

A existência do átomo foi largamente debatida durante séculos mas não se chegou a nenhuma conclusão porque não havia maneira de provar a sua existência. Não foi possível resolver esta questão antes do desenvolvimento pelos cientistas das técnicas necessárias para realizar experiências que pudessem diferenciar a matéria contínua da descontínua. John Dalton (1766-1844) propôs que a matéria é, na realidade, constituída por pequenas

partículas individuais. A teoria atômica de Dalton (Reger, 1997), expressa em linguagem moderna afirma o seguinte: (i) a matéria é composta por pequenas partículas indivisíveis denominadas átomos; (ii) um elemento é composto inteiramente por átomos da mesma espécie; (iii) um composto contém átomos de dois ou mais elementos diferentes; (iv) os átomos não se alteram numa reação química. A teoria de Dalton permitiu explicar os resultados de muitas experiências químicas.

No ano de 1896, teve início a história do nuclear, com a descoberta da radioatividade pelo físico francês Henri Becquerel, que identificou o urânio. Algum tempo mais tarde o casal Marie e Pierre Curie identificaram outros dois elementos radioativos, o polônio e o rádio que emitiam uma radiação como o urânio mas com muito maior intensidade. O casal Curie designou por radioatividade esta propriedade de certas espécies atômicas.

Em 1899, Becquerel e outros mostraram que, na presença de um íman, partes das radiações emitidas pelo urânio mudam de direção, umas num sentido e outras no sentido oposto. Concluíram assim que o urânio emite três tipos de radiação: um com carga positiva, outro com carga negativa e um terceiro sem carga elétrica. Ernest Rutherford chamou-lhes raios alfa, beta e gama, respetivamente.

Os raios alfa têm uma carga elétrica positiva duas vezes maior do que a carga do eletrão, uma massa muito maior do que a do eletrão e portanto uma menor capacidade de penetração na matéria. Os raios beta comportam-se como feixes de partículas idênticas aos eletrões no que se refere à massa e à carga elétrica. Os raios gama comportam-se como ondas luminosas mas com comprimentos de onda inferiores aos dos raios X.

Ernest Rutherford provou experimentalmente em 1902 que a radioatividade consiste na transformação espontânea de um tipo de átomo noutra, com emissão de radiações. A compreensão deste fenómeno conduziu ao abandono da ideia tradicional de que os átomos são corpúsculos cuja natureza nunca se modifica. Para Rutherford, o átomo era uma misteriosa caixa preta. Demasiadamente pequeno para poder ser observado, ele não podia ser dividido ou tocado diretamente. Os seus segredos estavam selados dentro do seu pequeno espaço. Como seria possível revelá-los? Ao lançar partículas alfa (núcleos de átomos de hélio) contra átomos de uma fina folha de ouro, Rutherford deduziu que o átomo possuía uma nuvem exterior de eletrões e um minúsculo mas muito denso núcleo interno. No início do século XX a física parecia ter resolvido a grande questão acerca da natureza última da matéria (Bizony, 2007).

As descobertas de Rutherford e de outros investigadores permitiram identificar os elementos constituintes do átomo: prótons, neutrões e eletrões. O que define um elemento químico é o número de prótons dos seus átomos. O átomo de cada elemento contém um número distinto de prótons. Por exemplo, o hidrogénio contém um próton e o urânio possui 92 prótons. A figura 1.1 mostra um átomo de hélio com dois prótons e dois neutrões no núcleo.

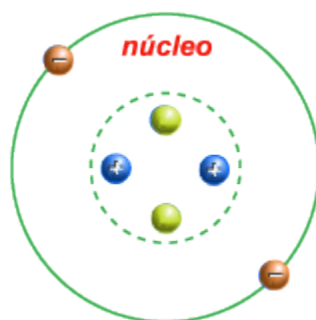


FIGURA 1.1 – Átomo de hélio (<http://efisica.if.usp.br/moderna/materia/atomos/>)

O número de nucleões (prótons + neutrões) constitui o número de massa do elemento enquanto que o número de prótons constitui o número atómico. No entanto existem diversas variedades de átomos para um dado elemento, chamados isótopos, do grego *isos* (igual) e *topos* (lugar). O “mesmo lugar” significa que os diferentes isótopos de um elemento químico ocupam a mesma posição na Tabela Periódica (ver anexo I). Os átomos de dois isótopos do mesmo elemento diferem entre si apenas pelo número de neutrões. Assim, o isótopo ^1_1H do hidrogénio contém 1 próton e 0 neutrões, o isótopo ^2_1H , designado por deutério, contém 1 próton e 1 neutrão e o isótopo ^3_1H chamado trítio, contém um próton e 2 neutrões. O mesmo elemento pode incluir isótopos que são estáveis e outros que são radioativos. Por exemplo, o carbono possui 16 isótopos conhecidos, dos quais os isótopos $^{12}_6\text{C}$ e $^{13}_6\text{C}$ são estáveis. O rádio-isótopo do carbono com maior período de semi-vida¹ é o $^{14}_6\text{C}$ (ou carbono-14) com semi-vida de 5700 anos. Esta característica é usada para datar objetos fabricados com substâncias orgânicas (Gerthsen, 1973).

¹ Semi-vida é o período de tempo necessário para que metade dos átomos de uma amostra radioativa se desintegrem. Este período é extremamente variável. Por exemplo, a semi-vida do isótopo urânio 235 é de 700 milhões de anos, enquanto que o iodo 131, um dos produtos da cisão do átomo de urânio 235, tem uma semi-vida de oito dias.

1.2. Reações Nucleares

Todos os elementos químicos existentes na Terra foram produzidos ou durante o período de formação do Universo, ou nas estrelas, quer na fase de vida estável, quer durante a morte das mesmas. No interior do Sol, por exemplo, a temperatura é suficientemente elevada para que ocorra a transformação de hidrogénio em hélio. A formação dos elementos químicos nas estrelas envolve reações nucleares.

Uma reação nuclear implica a modificação da composição atómica de um elemento, podendo este transformar-se em outro ou outros elementos.

A natureza das reações nucleares e das reações químicas são diferentes como se depreende da tabela 1.1 (Reger, 1997):

Reação Química	Reação Nuclear
Ocorre a nível dos eletrões.	Ocorre a nível dos núcleos.
Os elementos mantêm-se.	Origina novos elementos.
Não há variação da massa total.	A massa dos produtos é inferior à massa dos elementos iniciais, sendo a diferença convertida em energia.
Envolve pequenas quantidades de energia (da ordem de 10 a 10^3 KJ/mol).	Envolve grandes quantidades de energia (da ordem de 10^8 a 10^9 KJ/mol).

Tabela 1.1 – Algumas características das reações nucleares versus reações químicas

As enormes quantidades de energia libertadas por exemplo, pelo Sol e por outras estrelas resultam da conversão de matéria em energia. Isto ocorre quando os átomos de hidrogénio se combinam, em condições de elevadas temperaturas e pressões para formar átomos mais pesados (hélio).

Em 1919 Rutherford mostrou que era possível transformar um tipo de átomo noutra. Este fenómeno é completamente distinto da radioatividade. Enquanto que a radioatividade é uma transformação espontânea que não pode ser influenciada, a descoberta de Rutherford corresponde a uma transformação que é possível provocar de forma controlável e à qual chamamos reação nuclear. Na primeira reação nuclear produzida pelo homem, partículas alfa (núcleos de hélio) interagiram com núcleos de azoto para produzir núcleos de oxigénio e protões (núcleos de hidrogénio) (Krane, 1987).

Existem dois tipos de reações nucleares que conduzem à libertação de grandes quantidades de energia: fissão (ou cisão) e fusão.

1.2.1. *Reação de fissão ou cisão nuclear*

Com as descobertas de Rutherford, surgiu a esperança de tirar partido da energia nuclear para fins práticos. Tal aconteceu com a descoberta da cisão nuclear no final de 1938. Quatro anos antes Enrico Fermi iniciara experiências de bombardeamento do átomo de urânio (número atômico = 92) com neutrões, na esperança de obter um elemento com o número atômico 93. Embora Fermi não tenha conseguido identificar este novo elemento, as suas experiências despertaram a atenção de vários cientistas. Lise Meitner e Otto Hahn, juntamente com Fritz Strassmann, decidiram testar as experiências de Fermi. Das suas experiências resultou o bário, um elemento com o número atômico 56 (pouco mais de metade do número atômico do urânio). Entre os produtos da reação dos neutrões com o urânio, tinham obtido um novo tipo de reação nuclear que designaram de cisão nuclear, por analogia com o fenómeno biológico da divisão das células nos seres vivos.

Uma vez que os neutrões provocam a cisão nuclear e são produzidos por ela, é possível estabelecer uma cadeia de cisões e provocar a libertação em grande escala da energia dos núcleos de urânio. A reação de cisão nuclear pode revestir-se de um carácter explosivo atendendo a que a propagação de núcleo para núcleo se realiza numa milionésima de segundo. A explosão resultante pode ser milhões de vezes mais intensa do que as explosões químicas envolvendo a mesma massa de material explosivo. Este é o princípio de funcionamento da bomba atómica, como as lançadas em 1945 sobre Hiroshima e Nagasaki no Japão. No entanto, verificou-se rapidamente que não é difícil controlar a reação de cisão nuclear em cadeia (Figura 1.2). Usa-se para tal substâncias que absorvem facilmente os neutrões, como o cádmio, o que torna possível que, em média, apenas um neutrão por cisão dê lugar a uma nova cisão. O controlo da reação em cadeia permite a construção das vulgares centrais atómicas para produção de energia eléctrica (Oliveira, 2000).

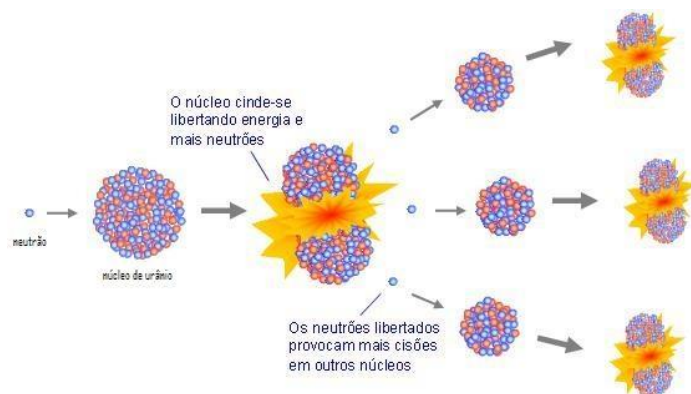


FIGURA 1.2 – Reação de cisão nuclear em cadeia (<http://www.meggapress.com/2012/07/energia-nuclear.html>)

1.2.2. Reação de fusão nuclear

Uma reação de fusão nuclear consiste no processo de transformação em que dois núcleos de átomos leves (tais como os do hidrogénio) são levados a juntarem-se, constituindo núcleos mais pesados e libertando uma quantidade de energia equivalente à perda de massa que ocorre na reação. As reações de fusão acontecem naturalmente no Sol e nas outras estrelas a temperaturas da ordem de 10 - 15 milhões graus Celsius (°C). Da fusão dos núcleos de hidrogénio resulta hélio: este processo fornece a energia que, sob a forma de radiação solar, garante a vida sobre a Terra (Varandas, 2006).

Estrelas como o Sol convertem hidrogénio e hélio em carbono, oxigénio, azoto, néon, magnésio, silício e ferro, mas nada mais pesado do que o ferro (número atómico 26). As estrelas gigantes vermelhas produzem a maior parte dos outros elementos da tabela periódica (ver Anexo II), enquanto que cabe às estrelas supernovas a tarefa de criar os núcleos atómicos como o ouro, o iodo e o urânio. Dado que o corpo humano precisa de elementos mais pesados do que o ferro, como o cobre, o zinco, o selénio e o iodo, sabemos que estes elementos tiveram de ser criados nalgum passado longínquo por estrelas gigantes vermelhas e por supernovas. Verdadeiramente somos constituídos pela poeira das estrelas (Emsley, 2001).

Na Terra, para que os núcleos atómicos, carregados positivamente, possam aproximar-se suficientemente entre si – ou seja, possam vencer a força de repulsão electrostática entre eles – e as reações de fusão se produzam regularmente, é preciso lançá-los uns contra os outros com velocidades da ordem de 1000 quilómetros por segundo. Para o conseguir, é necessário obter, em laboratório, temperaturas da ordem dos 100 a 200 milhões de graus Celsius, motivo pelo qual estas reações têm a designação de termonucleares. A estas temperaturas, o gás está completamente ionizado, isto é, a matéria encontra-se no chamado estado de plasma (o quarto estado da matéria) (Krane, 1988).

Uma reação típica de fusão nuclear envolve dois átomos de hidrogénio (isótopos deutério ${}^2_1\text{H}$ e trítio ${}^3_1\text{H}$) de modo a formarem um átomo de hélio, libertando-se ainda um neutrão e energia, como mostra a figura 1.3.

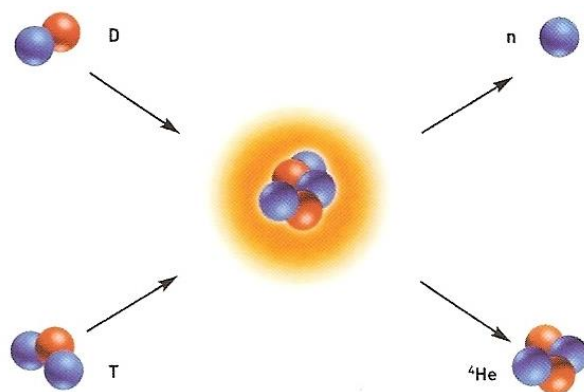


FIGURA 1.3 – Reação de fusão com deutério e trítio (*fusion-eur.org*)

A fusão nuclear de átomos de hidrogénio foi utilizada pelos militares para a construção da bomba H a partir de 1952. Trata-se de um engenho com uma capacidade destruidora muitas vezes superior à das bombas atômicas lançadas sobre o Japão. Para se alcançar as temperaturas extremas necessárias à fusão dos átomos procede-se previamente à detonação de uma pequena bomba de urânio ou de plutónio (Martin, 1955).

1.3. Energia nuclear

A equivalência entre a massa e a energia, estabelecida por Albert Einstein, mostra que a uma pequeníssima quantidade de matéria corresponde uma enorme quantidade de energia. A título de exemplo, a energia equivalente a um grama de matéria manteria acesa uma lâmpada de 100 W durante 35 000 anos.

Durante as reações nucleares ocorrem transformações de massa em energia. A equação de Einstein permite determinar a quantidade de energia libertada durante a reação:

$$E = m c^2$$

em que m é a massa e c a velocidade da luz ($c = 300\,000\text{ km/s}$). A figura 1.4 ilustra a perda de massa ocorrida na reação de fusão entre um átomo de deutério e um átomo de trítio, como está representado na figura 1.3. Dado que a soma das massas dos produtos da reação é menor que a soma das massas dos produtos reagentes, essa diferença foi convertida em energia de acordo com a fórmula de Einstein (Murray, 2001).

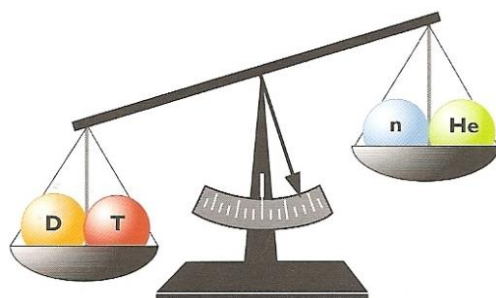


FIGURA 1.4 - Ilustração da perda de massa ocorrida na reação de fusão da figura 1.3 (fusion-eur.org).

A perda de massa ocorre, de igual modo, nas reações de fissão. Por exemplo, quando um átomo de urânio se decompõe em dois átomos mais leves, há uma perda de massa que é convertida em energia.

1.3.1. Energia nuclear tradicional – fissão ou cisão

Há cinquenta anos que a cisão nuclear permite produzir eletricidade através da reação controlada em cadeia da cisão de núcleos de urânio, permitindo hoje que 7% de toda a energia consumida no mundo seja desta origem, o que corresponde a 16% de toda a eletricidade produzida. Na Europa esta parcela sobe para é mais de 1/3, o que representa a forma mais importante de geração elétrica neste continente. Tal acontece com um registo de segurança incomparável face a qualquer outra forma de produção energética, não libertando para a atmosfera qualquer tipo de emissão relevante. É atualmente a forma de energia mais competitiva, devido à quantidade mínima de matéria prima que é necessária para produzir uma unidade de energia elétrica, em comparação com as outras formas de geração de energia baseadas essencialmente na queima de combustíveis fósseis (Nunes, 2006).

Para se obter calor através da divisão dos núcleos atômicos, isto é, com base no processo de fissão ou cisão nuclear, são necessários: (i) matéria contendo núcleos atômicos que possam ser divididos ou cindidos, a qual, por analogia, é usual designar-se por combustível nuclear; (ii) um dispositivo que desempenhe o papel de fornalha, que é o reator nuclear; e (iii) algo com que se inicie o processo de divisão dos núcleos atômicos, que é uma fonte de neutrões (Oliveira, 2000). Um reator nuclear convencional é um dispositivo blindado onde as reações de fissão nuclear são controladas e mantidas a um nível constante de potência.

As centrais nucleares produzem grandes quantidades de eletricidade a partir de reações de fissão realizadas num ou mais reatores (Figura 1.5). Constituem um complexo industrial de grande dimensão, formado por vários edifícios destinados ao reator propriamente dito, ao armazenamento do combustível, às turbinas de geração de eletricidade e aos sistemas de emergência.

Na figura 1.5, o calor provocado pela reação nuclear de fissão aquece a água circundante ao recipiente do reator por forma a produzir vapor de água. A turbina converte a energia térmica do vapor de água em movimento que é utilizado pelo gerador para produzir eletricidade. O condensador permite arrefecer o vapor de água, passando-o de novo ao estado líquido. A intensidade das reações de fissão é regulada pelas hastes de controlo que absorvem uma percentagem maior ou menor de neutrões libertados (ver Figura 1.2).

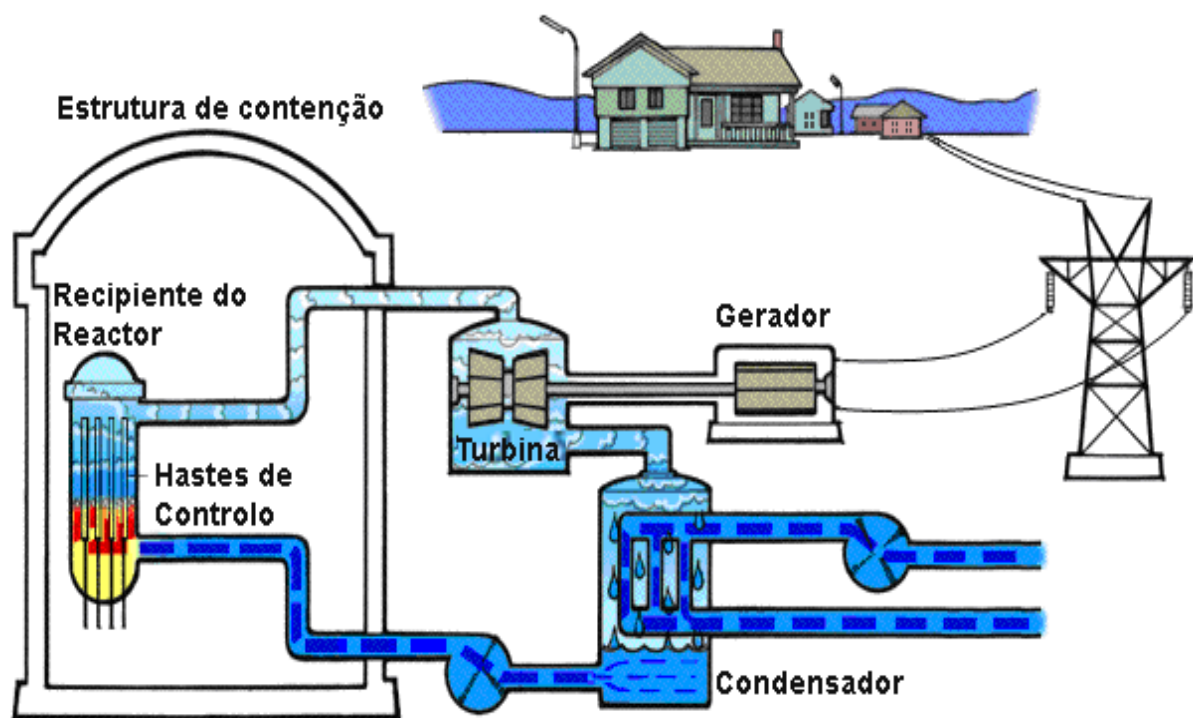


FIGURA 1.5 - Esquema de uma central nuclear convencional (oecd.org)

De acordo com a ENS (European Nuclear Society) existem em todo o mundo cerca de 442 centrais nucleares convencionais, distribuídas por trinta países, conforme se pode observar na Figura 1.6 (IEEE, 2011).

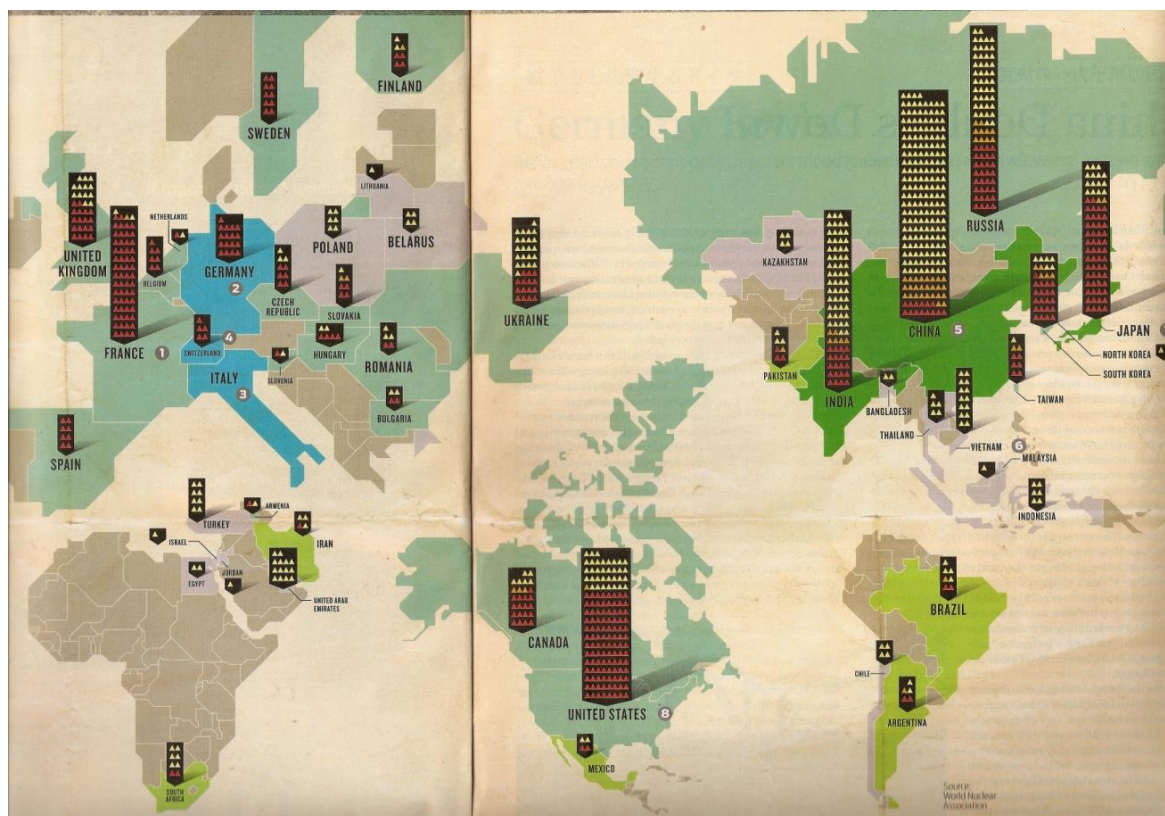


FIGURA 1.6 – Países do mundo que usam energia nuclear (World Nuclear Association)

▲ Reactores em operação ▲ - Reactores em construção ▲ - Reactores planejados

1.3.2. Energia nuclear alternativa – fusão

A produção comercial de energia elétrica a partir da fusão de átomos leves, tal como acontece no Sol e nas outras estrelas, porá à disposição da humanidade uma fonte alternativa de energia de larga escala.

Como já foi referido, a reação de fusão mais fácil de conseguir atualmente na Terra é a que envolve deutério (D) e trítio (T), dois isótopos de hidrogénio, os quais devem ser aquecidos a temperaturas muito elevadas (acima de 100 milhões de °C) e o plasma de hidrogénio daí resultante deve ser confinado, utilizando para isso ímanes potentes (McCracken, 2005).

O deutério pode ser extraído da água e o trítio, que existe em pequenas quantidades sobre a Terra, pode ser criado a partir do lítio, um metal leve que é abundante na crosta terrestre.

Os dispositivos de maior sucesso desenvolvidos para produzir energia de fusão chamam-se tokamaks (palavra russa para indicar uma câmara magnética em forma de toro)

(Figura 1.7). O plasma é mantido afastado das paredes da câmara por um conjunto de poderosos imanes que são controlados por um computador extremamente rápido. Evitar a perda de controle do plasma é um dos maiores desafios atuais da fusão nuclear (Varandas, 2011).

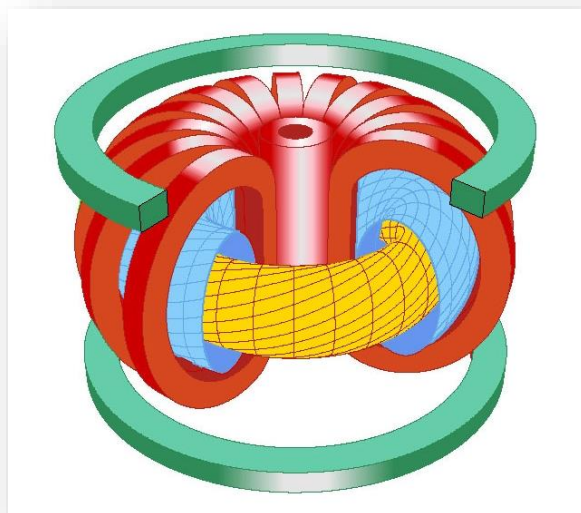


FIGURA 1.7 - Configuração esquemática de um tokamak (EFDA.org).

O tokamak JET (Joint European Torus), instalado no Reino Unido, entrou em funcionamento em 1983, sendo ainda hoje, a máquina mais avançada do mundo para a realização de experiências de fusão. Neste dispositivo já se produziram 16 megawatts de potência durante alguns segundos. Contudo, para que a eletricidade gerada por fusão nuclear seja uma realidade, ainda são necessários alguns passos.

Espera-se que o ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), atualmente em construção no sul de França (Cadarache), no âmbito de uma ampla colaboração internacional que envolve a Europa (via Euratom, ver capítulo 3), a Federação Russa, a China, o Japão, a Coreia do Sul, a Índia e os Estados Unidos da América, venha a demonstrar a viabilidade da fusão nuclear enquanto tecnologia energética (Fusion-eur.org).

Entre o ITER e a construção de centrais elétricas comerciais baseadas na fusão nuclear é preciso desenvolver uma máquina de teste que demonstre a transformação eficiente de energia térmica de fusão em eletricidade. Essa máquina é designada por “DEMO”. A figura 1.8 compara os volumes das câmaras magnéticas de diversos tokamaks

existentes e planeados. É também indicada a potência da reação nuclear produzida em cada um deles.

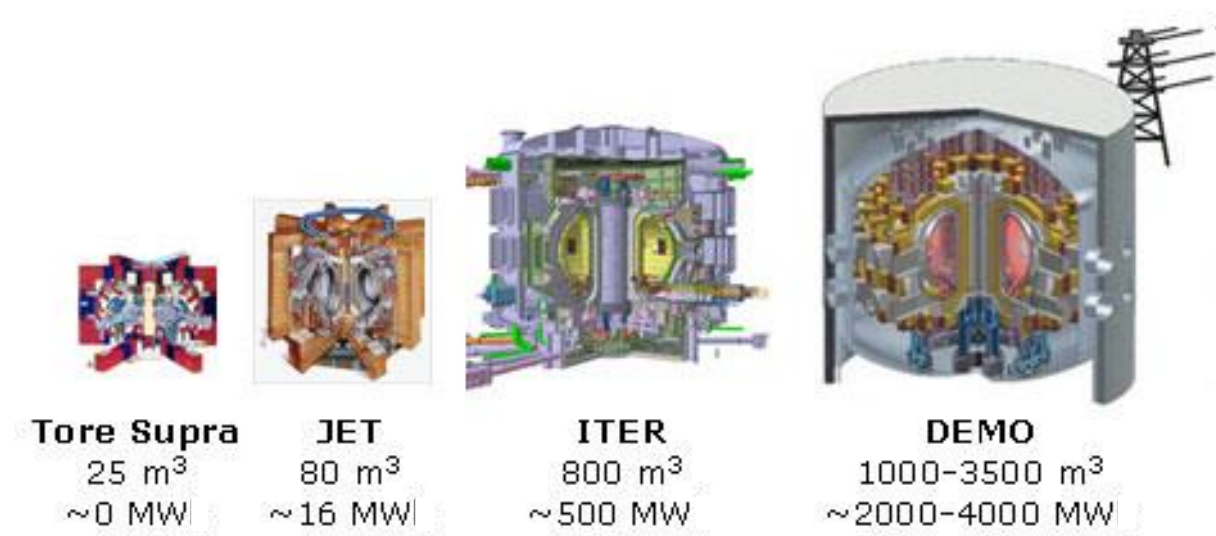


FIGURA 1.8 – Evolução dos tokamaks (ec.europa.eu.org)

1.3.3. Comparação entre formas de produção de energia

- Energias fósseis versus energias nucleares

Para produzir um MW de energia elétrica durante um ano (aproximadamente 8,76 milhões de kWh) são necessárias: 2500 toneladas de carvão, 1500 toneladas de fuelóleo, 700 toneladas de gás natural, 25 kg de urânio enriquecido (energia de fissão) e apenas 100 g de deutério e 150 de trítio (energia de fusão). Ora estas matérias primas darão origem a resíduos na proporção correspondente, conforme se pode verificar na Tabela 1.2 (Nunes, 2006):

Combustível	Resíduos
2500 T de carvão	5000 T de CO ₂ , SO ₂ , cinzas e metais pesados libertados para a atmosfera
1500 T de fuelóleo	4800 T de CO ₂ , SO ₂ e outros
700 T de gás natural	2400 T CO ₂
25 kg de urânio enriquecido	23 kg de resíduos (apenas 1 kg de alta radioatividade)
100 g de deutério + 150 g de trítio	Sem resíduos

Tabela 1.2 – Resíduos resultantes da produção de 1 MW de eletricidade durante um ano (adaptado, Oliveira, 2000)

Como se pode observar, a queima de combustíveis fósseis liberta para a atmosfera grandes quantidades de gases de efeito de estufa (monóxido e dióxido de carbono) e também outros gases poluentes (dióxido de enxofre e vários metais pesados) os quais causam alterações importantes no clima e no ambiente. A fusão nuclear é a única tecnologia que é praticamente isenta de resíduos.

- **Energia de fusão versus fissão/cisão**

A tabela 1.3 apresenta de uma forma resumida as vantagens e desvantagens da fissão/cisão e da fusão:

	VANTAGENS	DESvantagens
Fissão Nuclear	Energia limpa, não contribui para o efeito de estufa (sem CO ₂ , SO ₂ e NO _x)	Apresenta custos fixos de investimento elevados
	Abundante. Grande disponibilidade de combustível	Longo prazo de construção da central
	É a fonte mais concentrada de geração de energia	Armazenamento dos detritos radioativos difícil
	Não depende da sazonalidade climática (nem das chuvas, nem dos ventos).	Problemas de segurança
	Económica	Perigo de proliferação de armas nucleares
		Não é bem aceite pela opinião pública
Fusão Nuclear	Energia limpa: Inexistência de gases de efeito de estufa	Investigação intensa e custos elevados de desenvolvimento
	Combustível inesgotável	Tecnologia para a produção de eletricidade ainda não disponível
	Baixa radioatividade: nenhum dos combustíveis de base (deutério e lítio) ou o produto da reação (hélio) são tóxicos ou radioativos	
	Reatores de fusão são intrinsecamente seguros, não explodem nem sofrem sobre-aquecimento	
	Os poucos detritos radioativos podem ser reciclados no próprio reator para a produção de mais energia	

Tabela 1.3 – Fissão ou cisão versus fusão: vantagens e desvantagens (Adaptado, IAEA.org)

1.4. Outras aplicações do nuclear

1.4.1. Medicina nuclear

A medicina nuclear consiste num conjunto de diagnósticos que proporciona aos médicos informação importante que não é conseguida, muitas vezes, por outros meios. Mais do que um em cada três doentes que fica durante a noite num hospital é estudado por um método de diagnóstico da medicina nuclear (Reger, 1997). Para além disso, muitos departamentos de medicina nuclear também tratam doentes com radioisótopos que emitem partículas beta.

Quando se realiza um diagnóstico em medicina nuclear, uma forma química específica de um isótopo emissor gama é injetada no doente, de modo a que o isótopo se localize no órgão a estudar. A espécie química na qual o radioisótopo é incorporado é conhecida como radiofármaco. A distribuição do radiofármaco no paciente é então seguida com um detetor de raios gama que pode fornecer imagens bidimensionais (planar) ou tridimensionais (tomografia computadorizada de emissão de fóton único, ou SPECT). A visualização do órgão em estudo fornece informação acerca da sua morfologia e da sua função. Outras técnicas de imagem, tais como a tomografia computadorizada de raios X, ou a ressonância magnética, podem dar excelente informação acerca da morfologia de um órgão mas não acerca da sua função. Dado que os exames em medicina nuclear podem seguir o modo como um órgão processa uma dada espécie química (isto é, o radiofármaco), eles podem fornecer informação acerca do estado fisiológico e bioquímico desse órgão.

A maioria dos radiofármacos modernos envolvem o uso do isótopo tecnécio-99m. De todos os estudos de diagnóstico em medicina nuclear efetuados nos Estados Unidos, 85% utilizam fórmulas químicas deste isótopo. O isótopo é usado numa técnica de diagnóstico médico conhecido como imunocintigrafia que possibilita a ligação de átomos deste isótopo a células cancerígenas. Através da medição das emissões de raios gama pode-se diagnosticar a doença dentro de poucas horas. O método é especialmente útil no diagnóstico de cancro no intestino de difícil deteção (Emsley, 2001).

As doenças cardíacas são uma das principais causas de morte a nível global. O número de mortes pode ser drasticamente reduzido se forem analisadas grandes populações, para despiste das doenças de coração. O uso de um produto marcado com tecnécio-99m para visualização do coração permite ao médico determinar que regiões deste

orgão recebem suficiente, insuficiente ou nenhum fluxo sanguíneo. Esta informação é usada para avaliar o estado do paciente e para prescrever tratamento adequado (Reger, 1997).

1.4.2. Aplicações na agricultura

A importância dos métodos nucleares vai muito além das aplicações na medicina. A radiação produzida pelos elementos radioativos, desempenhou e continua a ter um papel importante em muitas outras atividades do ser humano. O combate a pragas que destroem as colheitas é um dos campos onde as radiações têm sido muito importantes. Através da radiação gama é possível tornar estéreis os insetos evitando assim que se continuem a reproduzir levando à sua extinção. Foi assim que se combateu a praga da mosca da fruta na Madeira que provocou grandes prejuízos nas culturas. A irradiação de sementes também permite operar transformações genéticas que melhoram substancialmente as novas plantas aumentando a sua produtividade. Um dos grandes sucessos foi no desenvolvimento de uma espécie de arroz mais resistente às pragas e com maior produção. Estes exemplos mostram como as radiações ajudam a combater um dos maiores flagelos da Humanidade, a fome que mata milhões de pessoas no nosso planeta (Alves, 2013).

1.4.3. As radiações e os materiais: interações proveitosas

As primeiras aplicações dos isótopos radioativos na ciência dos materiais apareceram no estudo dos fenómenos de difusão que estão na base da formação de materiais compostos como o aço. Com o advento da energia nuclear surgiu o problema de se saber como iriam resistir os materiais sujeitos aos grandes níveis de radiação próximo do núcleo dos reatores. Este problema também se coloca para os novos materiais a usar nos futuros reatores de fusão e na construção de satélites e naves espaciais, onde o escudo protetor do campo magnético terrestre não exerce a sua influência (Alves, 2012).

O desenvolvimento tecnológico que se tem verificado ao longo dos últimos anos passa também pela capacidade de alterar de uma forma controlada as propriedades dos materiais existentes na natureza e em último caso pela criação de novos materiais. As tecnologias nucleares desempenham um papel relevante em todo o processo de produção de materiais inovadores como sejam os dispositivos eletrónicos do estado sólido emissores de luz que estão por trás do mundo a cores que criamos à nossa volta.

1.4.4. Aplicações de técnicas nucleares no património cultural

O património cultural móvel e imóvel beneficia largamente da aplicação de técnicas nucleares, não só para um aumento dos conhecimentos da evolução tecnológica do Homem desde a antiguidade, como para a sua preservação e estabelecimento de métodos de conservação.

As técnicas nucleares e de luminescência aplicadas a materiais de construção de edifícios históricos ou construções pré-históricas permitem a caracterização composicional detalhada e a datação da construção, bem como eventuais fases de restauro e eventos como incêndios ou cheias. Desta forma, pode-se contribuir para a reconstituição da história da edificação do património construído “arqueológico, histórico e arquitetónico”.

O método nuclear de análise por ativação neutrónica (AAN) é de grande sensibilidade, permitindo a determinação simultânea dos teores de numerosos elementos químicos. Uma das principais vantagens na utilização deste método é ser micro-invasivo, questão fundamental quando lidamos com materiais culturais. O método baseia-se na produção e medição da radioatividade induzida em amostras mediante o seu bombardeamento com neutrões.

As técnicas nucleares de análise química e de luminescência aplicadas a cerâmicas pré-históricas como ânforas, faianças, porcelanas e azulejos fornecem dados muito valiosos na identificação do local de produção e das matérias-primas, nas tecnologias de produção, na datação absoluta, na deteção de falsificações e na reconstrução de rotas comerciais na antiguidade (Prudêncio, 2012).

1.5. Vigilância e proteção radiológicas do ambiente

A proteção radiológica tem como objetivo defender os indivíduos e o ambiente das exposições indevidas a radiações ionizantes (raios alfa, beta e gama). Três domínios de grande atualidade em proteção e segurança radiológica são:

- **Aplicações médicas das radiações ionizantes**

A partir dos anos 90 assiste-se a um aumento da exposição da população a radiações ionizantes, devida à disseminação da utilização de inovadoras técnicas e tecnologias de imagens médicas baseadas na Tomografia Computorizada (TAC) e à utilização crescente da

radionuclídeos e radiofármacos em medicina nuclear. O aumento da exposição às radiações pode prefigurar um problema de Saúde Pública, considerando os potenciais efeitos nocivos das radiações ionizantes. A prevenção de acidentes radiológicos e tratamentos de radioterapia reportados em diversos países e de que resultaram doses excessivas de radiação para doentes oncológicos, constitui outro tópico de grande atualidade (IAEA.org). Em Portugal existem cerca de 5600 instituições de radiodiagnóstico, incluindo quase 4000 de radiologia dentária, 32 Serviços de Medicina Nuclear, 45 aceleradores lineares para radioterapia externa e 54 instalações de braquiterapia. São efetuados anualmente cerca de 10 milhões de exames de radiodiagnóstico, dos quais cerca de 1,5 milhões são exames do tipo TAC e 600 mil são mamografias (Vaz, 2012).

- **Vigilância radiológica e proteção radiológica do ambiente**

Estas atividades têm como objetivo a medição da concentração de radionuclídeos de origem artificial ou natural nos compartimentos ambientais (atmosférico, aquático e terrestre) para assegurar que os alimentos e a água que ingerimos, o meio aquático, os solos, e o ar que inalamos não contenham níveis de radioatividade excessivos que possam constituir perigo para a Saúde Pública.

A sustentabilidade da utilização das radiações ionizantes e de materiais radioativos em inúmeras aplicações impõe a necessidade de conduzir estudos científicos e técnicos nas grandes áreas da Proteção Radiológica (PR) do ambiente e da radioecologia para avaliar e minimizar o eventual impacto negativo das radiações ionizantes e das substâncias radioativas na manutenção da biodiversidade, na conservação das espécies, nos habitats naturais e nos ecossistemas (Vaz, 2012).

- **Resíduos radioativos nas aplicações industriais e médicas**

A segurança na gestão das fontes e materiais radioativos, utilizados principalmente nas aplicações industriais e médicas, suscitam grande preocupação ao nível internacional, considerando o potencial para atos de terrorismo ou manipulações incorretas ou inadvertidas de fontes perdidas originando acidentes radiológicos. As fontes e materiais radioativos são considerados resíduos radioativos (RR) quando o detentor declara não pretender continuar a utilizá-los. Em Portugal, os RR são principalmente luvas, seringas, batas, geradores de Tecnécio-99m e outro material contaminado (oriundos principalmente

de Serviços de Medicina Nuclear), fontes radioativas seladas utilizadas em aplicações industriais, médicas, para fins de ensino e investigação e milhares de detetores de fumo.

Em Portugal, o Instituto Superior Técnico (IST) reúne, atualmente, competências em proteção e segurança radiológica, através de recursos humanos qualificados, equipamentos, laboratórios e infra-estruturas, competências científicas e técnicas únicas no País. Tais aptidões são exercidas através da Unidade de Proteção Radiológica e Nuclear, localizada no Campus Tecnológico e Nuclear (CTN) (antigo Instituto Tecnológico e Nuclear) (Vaz, 2012).

CAPÍTULO 2 – O NUCLEAR E A SOCIEDADE

“O despontar da energia atómica não criou um problema novo. Apenas tornou mais urgente a resolução de um que já existia”. (Albert Einstein)

2.1. A perspetiva económica

O desenvolvimento económico e social observado em muitas nações desde o princípio do século XVIII até aos nossos dias tem tido como principal vetor de sustentabilidade a disponibilidade de energia barata e abundante. Na segunda metade do século XIX o consumo duplicou em cada quinze anos, enquanto que na primeira metade do século XX este período passou para 26 anos e contraiu-se na segunda metade para 20 anos. Em 150 anos o consumo mundial de energia comercial foi multiplicado por 150 (Antunes, 2012).

A figura 2.1 mostra o crescimento do consumo mundial de energia a partir de 1945. O efeito dos embargos petrolíferos dos anos 70 e 80 manifesta-se no aumento mais lento do consumo de petróleo desde 1980. A partir do início do presente século as economias emergentes da Ásia, nomeadamente a China e a Índia injetaram um forte impulso na curva de consumo de energia.

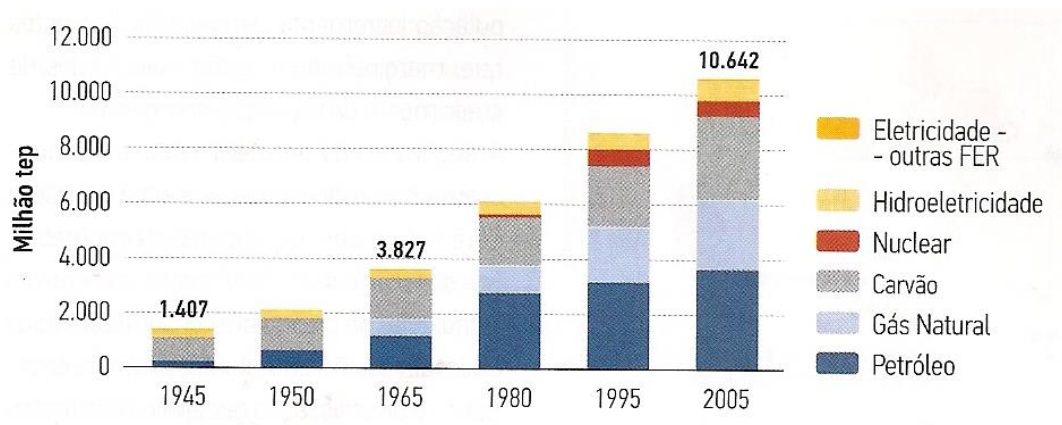


FIGURA 2.1 - Crescimento do consumo mundial de energia (tep=tonelada equivalente de petróleo; FER= Fontes de Energias Renováveis) (OECD, 2012)

A instabilidade do abastecimento do petróleo e a volatilidade do seu preço, a partir do terceiro quartel do século passado, introduziram alguma contenção nos gastos energéticos mas, ainda assim, o crescimento foi impressionante, tendo quase triplicado nos

últimos 40 anos. Raramente, os Governos, por comodidade ou por interesses eleitorais imediatos, introduziram nos planos dos seus países considerações sobre a fiabilidade do abastecimento ou sobre os inconvenientes de uma elevada dependência de fontes externas. Como consequência, no final da década de 70 os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) representavam 93% do suprimento de energia primária, sendo 46% a quota do petróleo. Apesar das crescentes dificuldades que foram surgindo durante as duas últimas décadas do século XX – uso do petróleo como arma geopolítica, volatilidade dos preços, etc. – este panorama não se apresenta muito diferente no início do século XXI: os combustíveis fósseis continuam a ser a fonte energética mais utilizada (Figura 2.2).

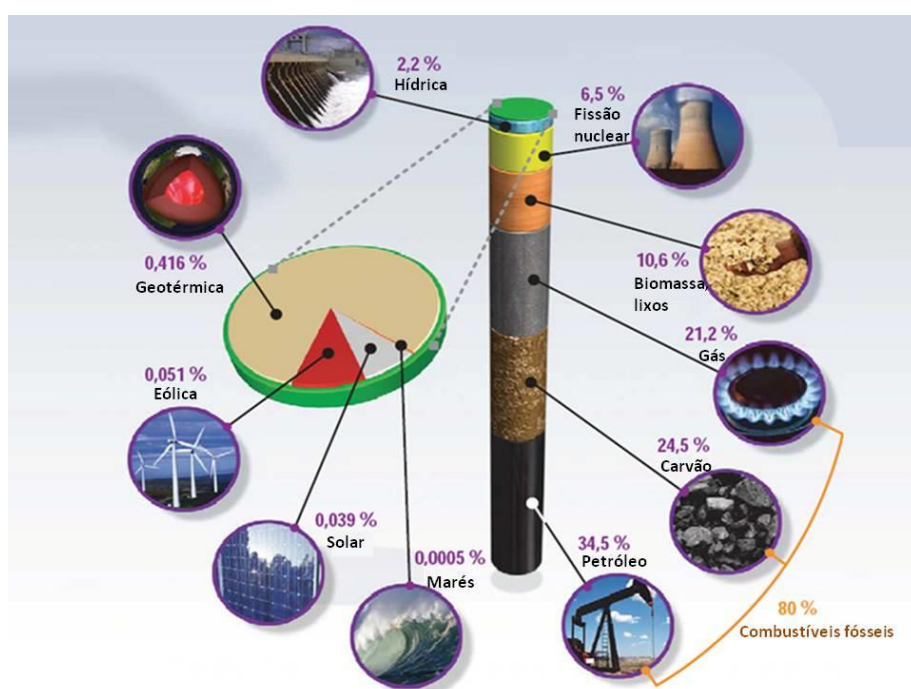


FIGURA 2.2 – Fontes atuais de energia (efda.org)

Ainda que parte do aumento de consumo tenha vindo a ser ocupada por fontes energéticas endógenas de menor impacto ambiental, será certo que nos anos vindouros continuaremos muito dependentes dos combustíveis fósseis. O gás natural, com menores consequências ambientais que os seus congéneres fósseis, ganhou importância no consumo. O uso da energia nuclear, após um período de intenso crescimento entre 1975 e 1990, praticamente estagnou em consequência dos movimentos cívicos que põem em causa a segurança desta fonte de energia, com a agravante do problema do armazenamento dos resíduos.

A produção de eletricidade a partir de fontes renováveis – geotérmica, solar, eólica e oceânica – tem sido objeto de particular atenção com vista a aumentar a sua contribuição.

A pressão que se exercerá sobre a necessidade de redução das emissões de carbono e outros resíduos poluentes, a volatilidade do preço dos combustíveis fósseis e a segurança do abastecimento, a que se adiciona as solicitações energéticas resultantes do aumento da população mundial, tornam expectável que a energia nuclear de fissão faça o seu reaparecimento como a resposta mais atempada às necessidades de energia isenta de carbono. A grande maioria das centrais existentes é da primeira ou segunda gerações e têm, genericamente, dado provas de fiabilidade, robustez e segurança. Em serviço ao longo de mais de quatro décadas, a avaliação da sua continuidade operacional estará confrontada com novos e mais rigorosos métodos por via dos acontecimentos de Chernobyl (1986) e mais recentemente Fukushima (2011). Ainda que os reatores ultimamente instalados, ou em vias de entrarem ao serviço, sejam de terceira geração, dispendo de tecnologia de exploração e segurança muito mais avançadas, continua a persistir entre a população preocupações com a segurança destas centrais e com o armazenamento dos resíduos. A urgência ambiental imposta pelas alterações climáticas tem tido contudo, sobre aquelas questões, algum efeito redutor.

Os cenários que temos referido prevêem que a produção mundial de energia elétrica por via nuclear passará de 2600 TWh¹ em 2007 para 3600 TWh em 2020 e 4500 TWh em 2035 com resposta baseada na nova geração de centrais e mais intensivo uso da capacidade instalada.

Esta previsão poderá sofrer algum revés por efeito dos acontecimentos do Japão, principalmente no que se refere à continuidade em serviço das centrais mais antigas e ao seu “upgrading”. Mas importará salientar que qualquer redução de utilização desta fonte implicará forte aumento das emissões de gases com efeito de estufa (Antunes, 2012).

Até há bem pouco tempo, os fatores principais que definiam a política energética do Ocidente eram o receio de ocorrer um pico de produção de petróleo e a forte dependência dos produtores, maioritariamente localizados no Médio Oriente, o que levou os governos a procurar alternativas aos combustíveis fósseis. Entre elas refere-se a exploração das camadas betuminosas e fontes de energia não convencionais. A indústria encontrou

¹ Um TWh = mil milhões de kWh.

métodos para extrair combustível de forma rentável e em quantidades suficientes para as próximas décadas, e por isso acreditou-se que a crise energética teria chegado ao fim.

A realidade, porém, revelou-se bastante diferente porque a queima dos combustíveis fósseis é a causa número um do aquecimento global e das suas consequências catastróficas. Precisamos, mais do que nunca, de encontrar fontes de energia alternativas que permitam preservar os níveis de prosperidade das economias industriais modernas de uma forma sustentável para o nosso planeta (Cowley, 2013).

As opções mais promissoras (em número muito reduzido) são: a energia solar, a fissão nuclear (avançada) e a fusão nuclear. Infelizmente, nenhuma delas está preparada para garantir, a curto prazo, a produção de energia em larga escala. Todas elas exigem inovações tecnológicas suportadas em investigação, só atingíveis através duma forte cooperação internacional.

Das três tecnologias citadas acima, a fusão tem um lugar destacado. Trata-se em muitos aspetos da fonte de energia perfeita. A água do mar fornece milhões de anos do combustível de fusão. As reações de fusão são seguras, não produzindo nem resíduos radioativos nem gases com efeito de estufa, e os reatores de fusão ocuparão relativamente pouco espaço.

O problema é que a fusão é muito difícil de realizar. É necessário que dois isótopos de hidrogénio (Deutério e Trítio) sejam aquecidos a 200 milhões de graus até que colidam e se fundam para produzir hélio. Não é fácil construir uma máquina para funcionar a temperaturas dez vezes superiores à temperatura do Sol. Não é fácil, mas é possível!

O JET (Figura 2.3), a máquina europeia de fusão localizada no Reino Unido, já conseguiu um grande feito. Durante alguns segundos, o JET gerou 16 Megawatts de potência de fusão – suficientes para alimentar cerca de oito mil habitações!



FIGURA 2.3 – Interior e vista panorâmica da máquina europeia de fusão – JET (efda.org)

Há agora duas fases a cumprir: (i) aumentar a duração e a potência e (ii) desenvolver tecnologias inovadoras para produzir eletricidade a partir da fusão, com rentabilidade e um preço suportável pelo consumidor. O primeiro dos objetivos está a ser conseguido com o projeto ITER, o qual foi planeado para atingir o estado de fusão auto sustentado – o último obstáculo científico à fusão nuclear. A construção estará completa em 2020, prevendo-se atingir a fusão de forma contínua por volta de 2030.

Existem outras abordagens à fusão nuclear – por exemplo as experiências com lasers na National Ignition Facility na Califórnia – mas na comunidade científica de fusão prevê-se que a reação de fusão no ITER seja o ponto crucial no caminho para a produção de energia de fusão em larga escala.

O segundo objetivo de atingir a viabilidade económica não é uma meta do ITER, será atribuída ao projeto DEMO.

Os programas de fusão para os próximos anos vão concentrar-se em eliminar as restantes dificuldades científicas e em desenvolver tecnologias fundamentais do reator que permitirão construir as futuras centrais de fusão, destinadas a fornecer eletricidade de forma fiável, num mercado altamente competitivo (Cowley, 2013).

2.2. Perspetiva ambiental

2.2.1. Proteção radiológica

Os núcleos radioativos, consoante o tipo de instabilidade que os caracteriza, podem emitir radiações ionizantes (capazes de produzir iões) diversas: radiação alfa, radiação beta e radiação gama (incluindo os raios X). Cada uma delas tem características próprias, afetando os seres vivos de formas distintas. Um ser vivo é constituído por uma coleção de átomos, sobretudo de carbono, hidrogénio, oxigénio e azoto, reunidos em moléculas de diversos tipos (água, açúcares, gorduras, proteínas, ADN, etc.), algumas das quais são extremamente complexas e formadas por centenas, milhares ou milhões de átomos. Estes ligam-se entre si partilhando eletrões periféricos, para formar as moléculas. Ao atravessarem a matéria, as radiações ionizantes podem arrancar estes eletrões e, desse modo, fragmentar as moléculas.

As alterações induzidas pelas radiações acontecem permanentemente, mas os organismos possuem meios eficazes de reparação. Sabemos que assim é porque os seres vivos têm evoluído num mundo radioativo, sendo impossível haver vida se não existisse um mecanismo de reparação eficaz das células afetadas. Mas sabemos também que nem todas as alterações químicas são reparadas. O perigo reside na possibilidade de a alteração afetar uma molécula crítica para o funcionamento da célula, como é o caso da molécula do código genético (ADN). Quando isso acontece, o dano pode levar à morte da célula, à incapacidade de divisão e multiplicação, ou à transmissão de anomalias genéticas a gerações futuras.

Os efeitos biológicos das radiações na matéria viva dependem da natureza das radiações. A dose equivalente da radiação exprime-se numa unidade designada por *sievert*; também são utilizados correntemente dois dos seus submúltiplos, o *milisievert* e o *microsievert*. Por exemplo, quando uma pessoa faz uma radiografia aos pulmões, a dose equivalente recebida é da ordem dos 100 microsieverts. A nível mundial, a dose média devida a exposição de fontes radioativas naturais é inferior a 2 milisieverts por ano. O efeito de uma dose forte, da ordem de 1 sievert ou superior, manifesta-se ao fim de algum tempo (alguns dias a algumas semanas). A quantidade de células mortas é tão grande que o organismo não é capaz de as substituir com rapidez suficiente. Daqui resultam consequências graves, tais como queimaduras na pele e vómitos e, em casos extremos, a morte, como aconteceu após a explosão de bombas nucleares ou em resultado de um número reduzido de acidentes nucleares, como o ocorrido em Chernobyl.

Para proteger os seres vivos contra os efeitos nocivos das radiações, recorre-se a instrumentos que as detetam (contadores Geiger) e a blindagens ou escudos que as absorvem. Nenhum dos nossos sentidos é capaz de detetar as radiações ionizantes, o que lhes confere, no espírito do público, um carácter misterioso e inquietante. Para cada tipo de radiação que se pretenda absorver, são utilizados escudos adequados. Como ordens de grandeza, são referidas as seguintes (Oliveira, 2000):

- Uma folha de papel é suficiente para absorver as partículas alfa (α).
- Uma lâmina de aço ou de ferro com alguns milímetros é suficiente para absorver as partículas beta (β) ou eletrões.
- Os raios gama (γ) e os neutrões (n) são os mais difíceis de absorver, sendo necessários alguns decímetros de material (betão, por exemplo) para esse efeito.

2.2.2. Lixo nuclear

O combustível nuclear é consumido após permanência no reator de uma central atômica pelo período de 4,5 a 6 anos. Ainda que ao fim deste período não se tenha esgotado completamente, já não é economicamente viável como fonte de calor. Em cada 18 a 24 meses cerca de 1/3 do combustível é retirado do reator. Este combustível é altamente radioativo e continua a produzir uma grande quantidade de calor devido ao decaimento radioativo dos seus elementos. O combustível usado é guardado em piscinas com água dotadas de um sistema ativo de remoção de calor. A água das piscinas também ajuda a proteger os trabalhadores da intensa radiação emitida pelos materiais. Após alguns anos em depósito, os materiais são retirados das piscinas e guardados em depósitos de aço e betão para posterior armazenamento definitivo.

Desde meados dos anos 40 do século passado, os combustíveis nucleares usados pelas centrais atômicas e os desperdícios com elevados níveis de radioatividade, provenientes de armamento atômico desativado, têm-se acumulado nos países com capacidade nuclear, em particular nos EUA e na Rússia. Por exemplo, nos EUA existem 121 depósitos temporários de materiais radioativos em 39 estados. Os depósitos localizam-se numa mistura de ambientes urbanos, suburbanos e rurais – a maioria deles próximos de grandes zonas aquáticas. Hoje em dia, mais de 161 milhões de pessoas residem dentro de um raio de aproximadamente 115 km de um destes locais. As técnicas atuais de armazenamento protegem de qualquer radiação perigosa e são seguras. Contudo, as estruturas acima do solo não estão preparadas para suportar os efeitos da chuva, do vento e de outros fatores ambientais durante os milhares de anos em que os resíduos radioativos podem ser perigosos.

Ao longo de décadas, os especialistas a nível mundial estudaram as várias formas para armazenamento definitivo do lixo nuclear, entre as quais: (i) deixar os materiais nos locais atuais; (ii) enterrá-los no fundo dos oceanos; (iii) colocá-los nas camadas de gelo polares; (iv) enviá-los para o espaço exterior; ou (v) depositá-los no subsolo a grandes profundidades em repositórios geológicos.

Após analisar estas opções, a maioria dos cientistas concordaram que a deposição em repositórios geológicos seria a melhor solução de longo prazo para lidar com o lixo radioativo (U.S. Department of Energy, 2007).

No que respeita à fusão nuclear, os materiais primários para o combustível de fusão, o deutério e o lítio, não são radioativos e podem ser transportados sem problemas até à central de potência. Os resíduos da combustão de fusão são constituídos por pequenas quantidades de hélio, um gás inerte, o qual também não é radioativo. Estudos exaustivos de segurança mostraram que uma central de potência de fusão pode ser operada sem qualquer risco de libertações prejudiciais para os seres humanos e o ambiente. Uma característica única de uma central de potência de fusão é que o componente radioativo do combustível, o trítio, é produzido dentro da própria máquina. A quantidade máxima de trítio que pode ser libertada em qualquer hipotético acidente gerado internamente foi avaliada como sendo suficientemente pequena, de modo a que a área para além do perímetro da central de potência não necessite de ser evacuada (efda.org).

2.2.3. Acidentes nucleares

Tal como a informação sobre os sismos ou a temperatura seriam difíceis de compreender sem as escalas de Richter ou Celsius, as atividades industriais e científicas que envolvem materiais radioativos recorrem à escala INES (International Nuclear and Radiological Event Scale) para explicar o significado de acontecimentos numa gama de atividades que incluem utilizações industriais e médicas como a radiografia, o uso de fontes de radiação em hospitais, atividades em centrais nucleares, e o transporte de materiais radioativos. A escala INES é usada para informar o público de modo atempado e consistente do nível de segurança associado às várias fontes de radiação. Ao colocar os eventos ligados a estas práticas numa perspetiva apropriada, o uso da escala INES pode facilitar uma compreensão comum à comunidade técnica, aos meios de informação e ao público (IAEA.org).

De acordo com a escala INES, os acontecimentos são classificados numa escala de sete níveis: os níveis 1-3 são chamados “incidentes” e os níveis 4-7 “acidentes”. A escala foi estabelecida por forma a que a gravidade do acidente correspondente a um nível é dez vezes maior que a do nível imediatamente inferior na escala (Figura 2.4). Ver também detalhes no Anexo II.

Os acidentes mais graves são classificados com níveis sete e seis. Estes níveis correspondem a uma significativa libertação de material radioativo com vastas repercussões na saúde e no ambiente (pode atingir mais que um país), requerendo a implementação de

contramedidas planeadas e generalizadas, possivelmente a nível internacional. Ao nível das consequências na saúde das populações, são de considerar fortes índices de contaminação radioativa dos organismos, levando nomeadamente ao aparecimento de vários tipos de doenças do foro oncológico. Os níveis cinco e quatro são também considerados acidentes mas com menos repercussões na saúde das populações. É necessário ativar o plano de emergência para minimizar os efeitos na saúde, sobretudo no controlo dos alimentos (Oliveira, 2000).

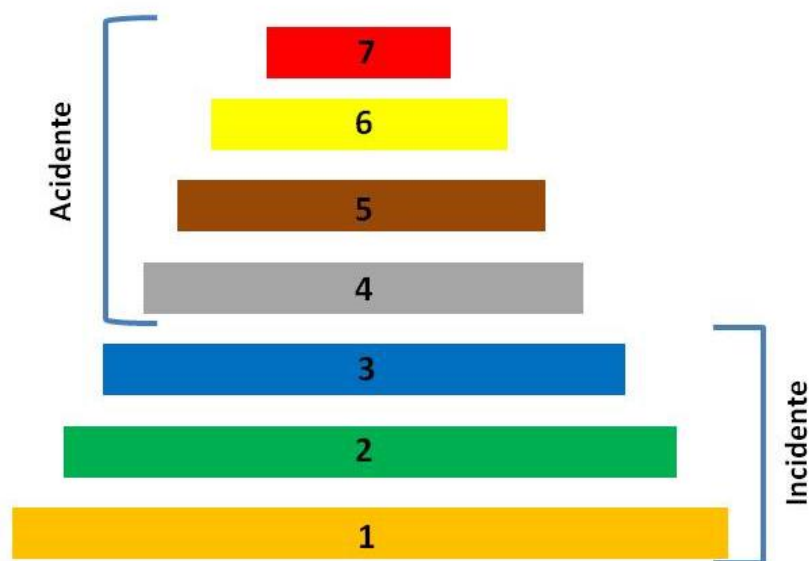


FIGURA 2.4 – Gravidade dos eventos na escala INES (IAEA.org)

Os incidentes (níveis três, dois e um), correspondem a fuga de produtos radioativos, sendo o impacto dentro da instalação (em geral falhas no sistema de segurança do reator). A adoção de medidas de proteção fora da mesma pode não ser necessária.

Até à data registaram-se apenas dois grandes acidentes a nível mundial (classificados com nível 7):

- **Desastre de Chernobyl**, 26 de Abril de 1986. Um pico de potência durante um procedimento de teste levou a uma poderosa explosão de vapor seguida de incêndio que libertou uma fração significativa do núcleo do reator para o ambiente, resultando na morte de 56 pessoas bem assim como 4 000 mortes adicionais por cancro (estimativa oficial da Organização Mundial de Saúde). Como resultado, a cidade de Chernobyl na Ucrânia (população: 14 000 habitantes) foi parcialmente abandonada, a cidade maior de

Pripyat (população: 49 000 habitantes) foi completamente abandonada e foi estabelecida uma zona de exclusão de 30 km em torno do reator (Friedman, 1992).

- **Desastre de Fukushima Daichi.** Consistiu numa série de eventos que começaram a 11 de Março de 2011. O desastre foi provocado pelo terramoto de Tōhoku e pelo tsunami associado, tendo resultado no sobre-aquecimento e fuga de materiais de alguns dos reatores nucleares do complexo Fukushima I. O acidente com cada um dos reatores foi classificado separadamente; dos seis reatores, três foram classificados com nível cinco, um com nível três, e a situação no seu conjunto foi classificada com nível sete. Foi estabelecida uma zona de exclusão temporária de 20 km em redor da central bem assim como uma zona de evacuação voluntária de 30 km. Além disso, foi ponderada a evacuação de Tóquio – a capital do Japão e uma das áreas metropolitanas mais populosas do mundo, a 225 km do acidente (Friedman, 2011).

O desastre de Three Mile Island, ocorrido em 28 de Março de 1979, perto de Harrisburg, Pennsylvania, EUA, embora grave não teve as repercussões dos dois desastres referidos atrás. Foi classificado como acidente de nível 5. O evento ocorreu quando o reator estava a operar a 97% da potência máxima e envolveu uma avaria relativamente pouco importante que provocou a sua desativação automática. Neste ponto uma válvula de segurança falhou, o que levou à perda do líquido de arrefecimento do núcleo. O calor gerado não pode assim ser eliminado tendo provocado a fusão parcial do núcleo. Foram libertadas pequenas doses de radiação para o ambiente mas as libertações não foram em escala suficiente para provocar problemas sérios de saúde nas populações próximas. No entanto, o acidente foi acompanhado por problemas de comunicação que levaram à produção de informações contraditórias, contribuindo para o aumento do receio por parte das populações. Em consequência, a confiança do público na energia nuclear, particularmente nos EUA, diminuiu fortemente após este acidente. O evento pode ser considerado uma causa fundamental para o declínio na construção de novas centrais nucleares nas décadas de 80 e 90 (Friedman, 2011).

As sub-secções 2.2.2. e 2.2.3. mostram a vulnerabilidade das tecnologias de fissão nuclear na produção de energia elétrica. Neste aspeto, a produção em centrais de fusão nuclear promete ser amiga do ambiente: as futuras centrais de fusão não produzirão praticamente nenhuns resíduos radioativos, para além de ser impossível ocorrer acidentes como os de Chernobyl ou de Fukushima.

2.3. Percepção do público sobre a energia nuclear

2.3.1. Imagem veiculada pelas autoridades

Os governos têm um interesse especial na promoção da tecnologia nuclear, bem assim como os funcionários dos serviços públicos e muitos engenheiros e cientistas. Os organismos nucleares americanos promoveram a energia nuclear como a solução para os problemas energéticos da nação durante quase quarenta anos sem refletir sobre os problemas importantes ligados à tecnologia e à segurança. Ao longo dos anos os governos têm manifestado uma certa tendência para esconder os aspetos negativos de tudo o que é nuclear.

No teste da bomba de hidrogénio de Bikini em 1954 o governo americano esperou dez dias antes de informar os habitantes das ilhas Marshall, tendo as populações sido expostas à queda de resíduos radioativos; a confirmação só chegou posteriormente após um marinheiro americano ter revelado o que tinha presenciado.

No acidente Windscale ocorrido em 1957, o governo britânico afirmou três dias depois do acontecimento que a radioatividade libertada se tinha dissipado sobre o mar e que não representava mais um perigo para as populações. Na realidade, a nuvem radioativa dirigiu-se para sudeste através de grande parte da Inglaterra e posteriormente através da Europa. Em 1983 o National Radiation Protection Board admitiu que o acidente Windscale teria causado 260 casos de cancro da tiróide, 13 dos quais fatais (Friedman, 2011).

2.3.2. Imagem através dos media

Do ponto de vista do jornalista, um acidente grande ou mesmo médio numa central nuclear é muito mais sério que um terramoto, inundação ou ciclone. Não há outro tipo de acidente, a não ser uma guerra nuclear, que se assemelhe a ele. Por conseguinte, quando falta informação exata e atualizada acerca de um acidente nuclear, os jornalistas tendem a atribuir os piores motivos às fontes informativas oficiais e a procurar outras fontes alternativas. Este comportamento pesa fortemente na exatidão da informação e conduz frequentemente   elaboração de cenários demasiado pessimistas (Friedman, 1992).

Os jornalistas são naturalmente desconfiados de tudo o que é nuclear devido ao secretismo que rodeia a tecnologia e à falta de honestidade e abertura que os governos têm mostrado face aos acidentes.

Há poucas fontes reconhecidamente “neutras” para consulta por parte dos jornalistas no caso de ocorrência de um acidente nuclear (quando comparado com a disponibilidade de geólogos após um terramoto e de meteorologistas na presença de um ciclone). Isto contribui também para a desconfiança dos jornalistas e para o incremento da conflitualidade. A energia nuclear é um assunto fortemente político pelo que cada fonte de informação fala partindo de um determinado ponto de vista.

Enquanto que os jornalistas e o público em geral têm uma boa noção dos riscos envolvidos ao enfrentar um ciclone ou uma inundação, os riscos de acidente numa central nuclear e os efeitos de longo prazo da radia o não são assim tão claros. As fontes de informa o e os jornalistas têm encontrado dificuldades em esclarecer o público sobre os riscos, particularmente tendo em considera o as divergências de opinião dos peritos (Rubin, 1987).

A cobertura dos meios de informa o e a discussão do acidente sobre a central nuclear de Fukushima foi maciça. Um pouco mais de quatro meses após o início do acidente, o Google apresentava 73.700.000 resultados para o termo de busca “Fukushima” e 22.400.000 resultados para os termos de busca “Fukushima and radiation” (Friedman, 2011). A quantidade de informa o sobre o acidente de Fukushima, existente na intranet   muito maior do que a produzida pelos meios de informa o durante os acidentes de Three Mile Island e de Chernobyl. Embora os jornalistas tenham contribuído com uma grande percentagem das notícias sobre Fukushima, os cidadãos participaram ativamente em blogues e no Facebook, Twitter e YouTube, trocando pontos de vista e alertando para artigos e vídeos importantes. A internet também proporcionou aos meios de informa o tradicionais muitas oportunidades para melhorar a cobertura, com mais espaço para artigos e a possibilidade de publicar vídeos e gráficos interativos. A cobertura no The New York Times, por exemplo, incluiu abundante informa o explicativa sobre o acidente de Fukushima e a liberta o de radia o em diversos formatos, tendo proporcionado aos leitores a oportunidade de compreenderem melhor a informa o técnica (Friedman, 2011).

Todas estas atividades da internet, a que se somam as publicações escritas tradicionais e as emissões de rádio e televisão, desempenharam um papel importante na informação dos cidadãos relativamente aos eventos de Fukushima e a problemas relacionados, tais como as políticas de energia nuclear dos vários países. A velocidade de disseminação ‘online’ teve os seus pontos fortes e fracos. Embora a informação aparecesse rapidamente, algumas notícias foram amplamente divulgadas sem muito cuidado sobre a sua exatidão ou sobre a credibilidade das suas fontes. Por exemplo, uma notícia publicada inicialmente num blogue garantia que não havia perigo da libertação significativa de radiação a partir do reator danificado, o que se veio a verificar posteriormente ser falso. Essa notícia foi colocada em centenas de sítios da internet e foi inclusivamente usada como ‘link’ por alguns sítios fiáveis da internet (Friedman, 2011).

2.3.3. O nuclear nos ecrãs

Na evolução histórica da questão do nuclear verificaram-se significativas mudanças de sentido nas representações televisivas. Assim, até finais dos anos 60, a tónica fundamental dos programas foi predominantemente marcada pelo entusiasmo e euforia face ao progresso científico trazido pela energia nuclear e pelas suas utilizações para fins pacíficos. Ela aparece como uma espécie de maravilha científica, ilustrada num conjunto de programas explicativos sobre o ‘átomo’ e por outros exercícios de divulgação de experiências aplicadas à agricultura, à indústria e à saúde. As séries sucediam-se então: *ABC – A Energia Atómica ao Serviço; A Era da Energia Nuclear; Conquista do Átomo*; etc. O nuclear surge referido explicitamente como a “forma de energia do progresso” em programas de divulgação científica, como *o Século XXI*, a *Enciclopédia* ou o *Relatório do Progresso*. Estabelece-se um tipo de relação de “conhecimento/curiosidade” e também “instrumental” num discurso alheado de quaisquer perigos. Mesmo havendo já manifestações anti-nuclear nos locais onde as experiências ocorriam e movimentos civis pacifistas contra o nuclear (de que Bertrand Russel era o líder mais emblemático), raramente o discurso documental emitido pela RTP passava da questão científica para o debate político, mantendo sempre um tom positivo ou, quanto muito, neutro (Schmidt, 2003).

No contexto nacional, onde inicialmente a prudência e a retração salazaristas evitaram tomar posição perante o nuclear – construindo-se um único e tímido reator experimental em Sacavém – durante o marcelismo o Estado ainda usou a RTP para difundir a

ideia positiva do nuclear como energia a apostar entre nós, prevista, aliás, no terceiro Plano de Fomento.

No período pós revolução, em meados dos anos 70, regista-se uma mudança de sentido relativamente a este tipo de energia – os programas da RTP começam a refletir a reação internacional contra o nuclear – e as ideias de risco, perigo, acidente, abalam em definitivo a sua imagem positiva. São muitos então os programas em que as relações estabelecidas com a questão nuclear passaram a ser também de crise, preocupação, ameaça/perigo e, mais tarde de acidente/destruição. Em Portugal, a tentativa de construção de uma central em Ferrel, em 1976/78, já em democracia, é fortemente contestada e a televisão, como foi visto nos telejornais, refletiu um movimento coletivo: “Nuclear, não obrigado!” (Schmidt, 2003).

2.3.4. Contestação ao nuclear

Em finais da década de 70, as emissões televisivas sobre o nuclear voltam a aumentar. Trazem, contudo, um novo contorno, cujas articulações serão decisivas para alterar a figura da questão energética: o acidente invisível e a contaminação. Na dualidade energética petróleo-nuclear nasce também uma dualidade de catástrofes. E, enquanto a década de 80 será a das grandes claudicações das centrais (inaugurada por Three Mile Island, em 1979), na de 70 começa a dos petroleiros quebrados e os consequentes derrames de crude (Torrey Canyon, Santa Bárbara, Amoco Cadiz). Contudo, o tratamento mediático de ambos os problemas será diferente: a radioatividade será sempre uma contaminação, ao passo que as marés negras se *limitarão* a uma sujidade (Schmidt, 2003).

Em finais de 70, tudo quanto toca à energia nuclear é crítico. As centrais são nacional e internacionalmente contestadas; são referendadas e desencadeiam manifestações públicas que estão contra toda a ideia do nuclear: “shut down the nuclear” são as palavras de ordem.

Em Portugal, Ferrel foi a primeira, e talvez a mais marcante, manifestação de protesto público sobre questões ambientais no período pós-revolução, atravessando muitos setores sociais e políticos da sociedade portuguesa.

O projeto do nuclear para Portugal foi posteriormente posto de lado e, a partir de 1986, o acidente de Chernobyl vem consolidar definitivamente uma imagem do nuclear quase exclusivamente associada a uma relação de crise, acidente e ameaça. Ameaça, no

nosso caso, também vinda de Espanha, havendo então alguns programas dedicados aos riscos das centrais espanholas e à eventual construção de uma lixeira de resíduos nucleares em Aldeadavilla (Schmidt, 2003).

As desarticulações permanecem claras na percepção portuguesa da nossa própria situação relativamente à energia atómica. Não há referências ao facto de ter origem nuclear a muita eletricidade que importamos; é certo que as centrais espanholas aparecem, mas as suas avarias pouco se destacam e a sua localização só surge como problemática quando se começa a falar de «lixo radioativo» no Douro.

A possibilidade de uma lixeira nuclear em Aldeadavilla em Espanha (1987), mais tarde prevista para Sayago, em 1993, desencadeia fortes reações por parte dos portugueses. Raramente se verificaram momentos de unidade nacional por uma mesma causa como já acontecera em Ferrel e volta a acontecer dez anos mais tarde a pretexto de Aldeadavilla e com a memória fresca de Chernobyl.

Um *jornal de sábado* emitido pela RTP no dia 28 de janeiro de 1989 é um dos últimos casos de tratamento da questão energética em si mesma e enquanto escolha política, já que é o último momento em que se recoloca a opção nuclear (Schmidt, 2003).

CAPÍTULO 3 – ESTRATÉGIAS DE COMUNICAÇÃO DO NUCLEAR

“Por mais bela que seja a estratégia, devemos olhar ocasionalmente para os resultados.” (Sir Winston Churchill)

3.1. Introdução

Para manter o estado atual de desenvolvimento, o mundo precisa urgentemente de novas fontes de energia fiáveis, baratas e não poluentes. As tecnologias nucleares podem dar um contributo crucial para a substituição dos combustíveis tradicionais baseados no petróleo e no carvão. Por conseguinte, o nuclear é uma área científica/tecnológica que precisa de ser mais divulgada junto do grande público.

3.2. Divulgação do nuclear em Portugal

3.2.1. Primeiros passos

Em 1981, por ocasião da Conferência Internacional de Física das Altas Energias, foi realizada no Instituto Superior Técnico, a exposição “Como se fazem as coisas”, “sobre a estrutura da matéria, partindo da nossa experiência quotidiana e alargando-a pelas técnicas mais sofisticadas da pesquisa científica até à identificação das partículas elementares”, contendo “aparelhos e experiências em funcionamento onde o público era solicitado a mexer, a pôr questões e a sugerir alternativas”. Foi concebida como uma ocasião de troca de ideias e levantamento de questões entre o público e os físicos presentes, numa espécie de viagem ao interior da matéria, em que o público era solicitado a uma aventura onde descobriria como a ciência podia ser viva, compreensível, feita por gente comum (Jornal da Educação, 45, junho de 1981: 12).

3.2.2. Ciência Viva

A intervenção governamental mais significativa no domínio da cultura científica terá sido a criação da Agência Ciência Viva (ACV) em 1996, inicialmente como uma unidade orgânica do Ministério da Ciência e Tecnologia, mas que em Julho de 1998 se torna uma

associação cultural sem fins lucrativos, que “tem por objeto a difusão da cultura científica e tecnológica, apoiando ações dirigidas à promoção da educação científica e tecnológica na sociedade portuguesa, com especial incidência nas camadas mais jovens e na população escolar” (DR n.º 56, III série, 5/11/98), sendo seus associados os organismos do MCT e vários centros de investigação.

Desde 1997 a Ciência Viva tem vindo a promover todos os anos a Semana da Ciência e Tecnologia, no sentido de tornar público que ciência se faz em Portugal, os resultados obtidos, quem são os nossos cientistas e como trabalham. Durante uma semana em cada ano, instituições científicas, universidades, escolas e museus abrem as portas, proporcionando à população a oportunidade de interagirem com especialistas de diferentes áreas do conhecimento.

Outra atividade bastante atrativa promovida pela Ciência Viva é o programa “Ciência Viva no Laboratório - Ocupação Científica de Jovens nas Férias (OCJF)”, que proporciona aos estudantes do ensino secundário uma oportunidade de aproximação à realidade da investigação científica e tecnológica.

3.2.3. CTN/IST

O Campus Tecnológico Nuclear do Instituto Superior Técnico (CTN/IST), antigo Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), enquanto estrutura de ensino, investigação e prestação de serviços, possui a missão de efetuar e promover a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico, em especial no domínio das ciências e técnicas nucleares, da proteção e segurança tecnológica, bem como, nesse âmbito, desenvolver ações de formação graduada e pós-graduada e a atualização permanente de técnicos e ainda promover a divulgação da ciência nas suas áreas de especialidade. São cinco as áreas de especialização em que desenvolve a sua atividade:

- Ambiente e preservação cultural;
- Saúde e ciências da vida;
- Ciências e tecnologia dos materiais;
- Proteção radiológica;
- Educação e formação.

As suas áreas de especialização, nomeadamente as relacionadas com a utilização das radiações ionizantes, com as infraestruturas de investigação, com os equipamentos

especializados (alguns únicos no país), aliadas ao “know-how” das suas equipas de investigação, permitem-lhe oferecer excelentes oportunidades para:

- Aprendizagem científica/técnica de estudantes e de jovens cientistas, nas áreas de atividade do Instituto (ambiente, estudo e preservação do património cultural, ciência e tecnologia de materiais, ciências da vida, etc.).
- Aprendizagem para profissionais, que interagem com radiações ionizantes e suas aplicações, em diversos domínios de atividade. O IST/ITN possui um núcleo de formação que, nomeadamente, organiza cursos sobre manipulação segura de equipamentos que utilizam fontes radioativas, lecionados por formadores certificados.

Por outro lado, o IST/ITN promove regularmente iniciativas destinadas ao público em geral, dando particular atenção ao público mais jovem. Para este fim, abre as suas portas aos estudantes do secundário e do ensino superior, recebendo tipicamente, uma visita por semana.

As áreas de competência estão associadas aos recursos humanos e de equipamento em que assenta a atividade de I&D. É igualmente desenvolvida atividade que decorre da necessidade de dar respostas técnica e cientificamente fundamentadas a situações decorrentes de obrigações legais ou outras, colocadas pela sociedade civil. Referem-se a seguir as principais áreas em que é desenvolvido trabalho:

- Física e aceleradores
- Ciências químicas e radiofarmacêuticas
- Reatores e segurança nuclear
- Proteção e segurança radiológica

3.2.4. IPFN

O Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN) é uma unidade de investigação do Instituto Superior Técnico (IST) com o estatuto de Laboratório Associado desde 2002. As suas atividades estão centradas em duas áreas temáticas: (i) Fusão Nuclear Controlada e (ii) Tecnologias de Plasmas e Lasers Intensos. A atividade de Fusão Nuclear Controlada está incluída no programa de fusão da Euratom, através do contrato de Associação Euratom/IST que a nível nacional é liderado pelo IPFN. A missão do IPFN, enquanto unidade de investigação do IST, é contribuir para o progresso do conhecimento científico e tecnológico

promovendo a investigação fundamental e aplicada em física, engenharia e tecnologias associadas às áreas de competência dos seus colaboradores, com ênfase especial nos plasmas, fusão nuclear, lasers intensos, espaço e computação avançada. O IPFN tem também como missão promover o ensino de qualidade em engenharia, ciência e tecnologia nas suas áreas de ação. Os investigadores do IPFN trabalham num dos maiores desafios que a comunidade científica enfrenta nas últimas décadas, a invenção científica que maior impacto terá na Humanidade no século XXI: a obtenção de uma fonte de energia limpa e renovável capaz de assegurar as necessidades energéticas à escala planetária. O IPFN contribui para este desafio através do trabalho desenvolvido para o ITER.

No âmbito da transferência de tecnologia refere-se a realização de atividades de comunicação de ciência para alunos do ensino superior, alunos e professores do ensino secundário e para o público em geral, salientando-se a organização de visitas regulares aos laboratórios, (em particular ao tokamak ISTTOK).

O IPFN mantém também uma forte presença junto da sociedade através de atividades de divulgação e comunicação de ciência. Entre elas destaca-se o papel junto dos alunos de escolas dos 2º e 3º ciclos (Figura 3.1), bem como de professores do ensino secundário através da organização regular de ações de formação em fusão nuclear, plasmas e lasers, ou a organização de escolas de verão e de estágios de investigação de alunos universitários. Os seus investigadores promovem sistematicamente a ligação à sociedade através da promoção dos resultados científicos de maior impacto para os media e para o público em geral, quer através de press releases, quer através da edição de conteúdos multimédia vocacionados especificamente para a divulgação.



FIGURA 3.1 – Palestras para alunos dos ensinos básico e secundário

3.2.5. O nuclear e a escola

A física nuclear tem vindo a ocupar um lugar cada vez mais importante na discussão pública de fenómenos e acontecimentos da sociedade a nível mundial, nas suas vertentes política, económica e científica. É por isso fundamental que os cidadãos discutam este tema munidos de alguns conhecimentos, que o compreendam e que o assimilem de forma cientificamente correta. A melhoria da aprendizagem destes temas ao nível da escola é uma forma de promoção de tomadas de decisão conscientes relativamente a opções escolares futuras e de inserção na vida ativa.

De acordo com os programas atuais das disciplinas de Física e Química definidos pelo Ministério da Educação e Ciência e lecionados no ensino secundário, a questão do nuclear surge no 10º ano, na componente de Química da disciplina de Física e Química A, e no 12º ano, nas disciplinas de Química e de Física. Assim, com o objetivo de enquadrar científica e pedagogicamente as temáticas da fusão e da fissão nucleares, apresentam-se nas tabelas 1, 2 e 3 (ANEXO III) os objetos de ensino e os objetivos de aprendizagem para cada uma das três disciplinas.

Surge cada vez mais a necessidade de inovar o ensino, mais propriamente o ensino da Química e de Física, de modo a promover a motivação dos alunos e o sucesso naquelas disciplinas. Para tal, o contributo e a função do professor são fundamentais. O papel deste não se deve resumir à pura transmissão de conhecimentos, não podendo, por isso, ficar indiferente aos novos métodos e técnicas introduzidos no ensino, decorrentes do aparecimento das novas tecnologias, nomeadamente, do computador e da *Internet*. Aqui, os progressos têm sido imensos. Os novos meios de informação podem reavivar o gosto pelo ensino e pela aprendizagem, permitindo troca de informação, independentemente da distância, através dos recursos de ensino digitais. O professor tem como tarefa principal criar, proporcionar e estimular o ambiente educativo, fornecendo aos seus alunos contextos e novas situações que exijam experimentação, integrando, simultaneamente na sala de aula e fora dela meios que facilitem, quer a comunicação, quer a apreensão conceptual.

No campo do nuclear, têm sido organizadas palestras em escolas do ensino secundário e outras instituições, visitas aos laboratórios do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) e do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), assim como ações de formação para professores do ensino secundário na área de física.

3.3. Divulgação do nuclear no mundo

No plano internacional, a Assembleia Geral da ONU decidiu organizar uma conferência internacional em 1954 para partilha de conhecimentos sobre a utilização da energia nuclear para fins pacíficos. A partir desta data são várias as organizações e instituições com um papel relevante na divulgação das tecnologias nucleares. Entre elas destacam-se a International Atomic Energy Agency (IAEA), a European Atomic Energy Community (Euratom) e o Culham Centre for Fusion Energy (CCFE).

3.3.1. IAEA

A IAEA é uma organização intergovernamental independente apoiada na ciência e na tecnologia, integrada nas Nações Unidas, que promove a cooperação nuclear. Assiste os seus Estados Membros, no contexto dos objetivos sociais e económicos, no planeamento e uso das ciências e tecnologias nucleares para os vários fins pacíficos, incluindo a geração de eletricidade, e facilita a transferência dessas tecnologias e conhecimentos numa forma sustentável para o desenvolvimento dos Estados Membros. Define padrões de segurança nuclear e, baseada nesses padrões, promove o desenvolvimento e a manutenção de elevados níveis de segurança em aplicações de energia nuclear, bem assim como a proteção da saúde humana e do ambiente contra as radiações ionizantes. Verifica, através do seu sistema de inspeções, se os Estados cumprem com as suas obrigações, na sequência de tratados de não-proliferação de armas nucleares, tendo por fim o uso de materiais e instalações nucleares exclusivamente para fins pacíficos.

A IAEA é a mais importante editora de publicações científicas na área do nuclear e disponibiliza no seu portal (<http://www.iaea.org/>) informações técnicas e científicas, as quais incluem padrões de segurança internacional, guias técnicos, atas de conferências e relatórios científicos. O boletim da IAEA, panfletos e brochuras, são as publicações de interesse para o público em geral.

3.3.2. EURATOM

A European Atomic Energy Community (Euratom) foi inicialmente criada para coordenar os programas de investigação dos Estados Membros com aplicações da energia nuclear para fins pacíficos. Atualmente a Euratom ajuda a centralizar os conhecimentos, as infraestruturas e as verbas destinadas às atividades relacionadas com energia nuclear.

Garante a segurança das fontes de energia atômica dentro do contexto de um sistema de monitorização centralizado. Atua em diversas áreas ligadas à energia atômica, incluindo investigação, definição de padrões de segurança, e utilizações pacíficas da energia nuclear. Um dos objetivos fundamentais da Euratom consiste em assegurar assegurar que todos os utilizadores da União Europeia disponham de fornecimentos regulares e equitativos de combustíveis e outros materiais nucleares.

De salientar que toda a investigação europeia em matéria de fusão nuclear é coordenada pela Comissão Europeia e financiada pela Euratom, através dos Programas-Quadro da Comunidade para a Investigação e o Desenvolvimento Tecnológico. O programa é assim totalmente coordenado e integrado a nível europeu sendo executado mediante dois mecanismos principais:

- Contratos de Associação entre a Euratom e os Estados-Membros da UE ou Estados não membros associados à Euratom.
- O Acordo Europeu sobre o Desenvolvimento da Fusão (EFDA) que coordena as atividades tecnológicas, a exploração científica do Joint European Torus (JET) e a contribuição europeia para as colaborações internacionais. Aqui, a sua principal atenção centra-se na contribuição europeia para o projeto internacional de demonstração da energia de fusão chamado ITER.

Este esforço coordenado comum deu lugar a um espaço europeu de investigação e colocou a Europa numa posição de liderança em matéria de investigação, de um novo paradigma energético em todo o mundo – a energia de fusão nuclear.

No que respeita à divulgação das ciências nucleares, a Euratom publica vídeos, livros, brochuras e panfletos, vários tipos de legislação, para além de promover conferências e outros encontros científicos.

3.3.3. Culham Center of Fusion Energy

O Culham Center of Fusion Energy (CCFE) é o laboratório nacional de Inglaterra, líder na investigação em fusão nuclear. Pertence e é operado pela Autoridade de Energia Atômica do Reino Unido. É neste Centro que se encontra instalado o maior dispositivo experimental em operação do mundo (JET), para investigar e demonstrar como se produz energia de fusão.

Esta instituição tem sido pioneira em projetos de comunicação de ciência, com os objetivos de: (i) divulgar e informar o público em geral sobre os avanços tecnológicos e científicos no desenvolvimento de uma energia mais limpa para o futuro; (ii) aumentar o conhecimento sobre energia de fusão nuclear de uma forma lúdica e interativa; (iii) captar futuros cientistas; (iv) ajudar os professores a introduzirem o tema da fusão (num conceito energético) nas aulas; e (v) convencer políticos e potenciais entidades financiadoras de que é chegado o momento de tornar a fusão uma realidade.

A sua equipa de comunicação está muito empenhada em abranger uma vasta gama de públicos-alvo: estudantes e professores (ensinos primário, secundário e universitário), encarregados de educação, público em geral (vários grupos da sociedade), membros do parlamento europeu (da área da energia), grupos e/ou associações envolvidos nas causas ambientais, governantes, entidades financiadoras e comunidade científica.

No âmbito da divulgação e educação para o público entre os 5 – 6 anos, o CCFE criou “The sun dome” (a cúpula do Sol) (Figura 3.2). Trata-se de uma atividade itinerante em que uma cúpula insuflável - portátil e que pode ser instalada no hall de uma escola ou de qualquer outra instituição - permite uma viagem virtual ao Sol. Esta atividade ajuda as crianças a saberem mais sobre o Sol e como ele funciona (fusão nuclear), promove a compreensão dos aspetos de ciência básicos – átomos, estados da matéria, energia, temperatura, núcleos e eletrões e melhora a compreensão da energia de fusão como uma forma alternativa de energia limpa e sustentável para o futuro da humanidade.



FIGURA 3.2 - A cúpula do Sol no hall de uma escola em Oxford no Reino Unido (efda.jet.org)

Também são promovidas palestras por cientistas, para estudantes dos outros graus de ensino, (nas escolas, colégios e universidades), cursos avançados para alunos

interessados na área da física dos plasmas e visitas ao laboratório do CCFE (Figura 3.3). De salientar que as visitas têm de ser preparadas pelos alunos, através de um “work book” criado para o efeito, de modo a estes tirarem o maior partido da visita e entenderem melhor os temas expostos.

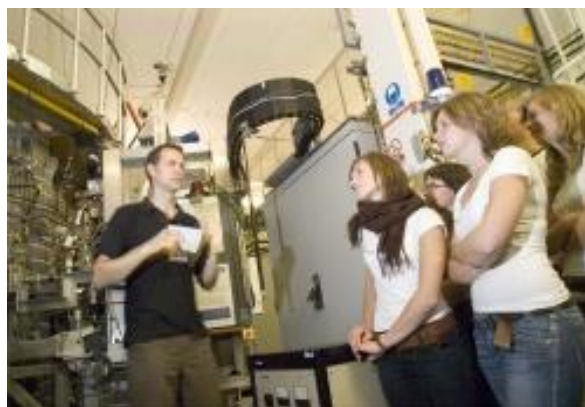


FIGURA 3.3 – Visita de estudantes ao laboratório do CCFE (efda.jet.org)

Para o público em geral, a equipa de comunicação do CCFE promove outras atividades como as “Open Evenings” onde o público (especialmente grupos de ambientalistas e ecologistas) tem oportunidade de ver o maior dispositivo de fusão nuclear e falar com os cientistas e engenheiros.

Outro exemplo é o “Fusion Road Show”, um espetáculo itinerante sobre fusão para todas as idades, que consiste num conjunto de experiências simples para explicar os princípios básicos da fusão, unidos numa representação de entretenimento e acompanhados por uma apresentação explicativa.

A “Expo-Fusion” é uma exposição itinerante (Figura 3.4) destinada ao público em geral, que apresenta a energia de fusão como a mais promissora para a humanidade. A exposição pertence à EFDA e à Comissão Europeia e, desde outubro de 2008 é coordenada pela Associação Euratom/Eslovénia. Explica de uma forma simples e clara os fundamentos da fusão, descreve as instalações europeias no âmbito da investigação em fusão e apresenta filmes sobre o funcionamento do International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), ou seja, o caminho para uma futura central de energia de fusão.

Esta exposição itinerante, pode ser exibida em todos os países da Europa e dispõe de uma equipa própria responsável pela sua instalação. Normalmente fica entre quinze dias a

dois meses em cada país, tendo já sido exibida em 1995, 2000 e 2004 em Portugal. A “Expo-Fusion” também pode ser visitada virtualmente através do site: <http://www.fusion-expo.si/>



FIGURA 3.4 – Camião de transporte da “Expo Fusion” (efda.org)

Ainda no âmbito das atividades a nível europeu, o “public information network” tem como objetivo manter a comunidade científica associada ao programa europeu de fusão nuclear informada de todos os avanços nesta área. Para tal, é destacado um membro de cada um dos 28 laboratórios europeus associados ao projeto, que fica responsável pela promoção de atividades de educação, treino e divulgação no seu próprio país.

Salienta-se que a Europa está atualmente na vanguarda a nível mundial, quer na investigação e desenvolvimento (I&D), quer na promoção e divulgação da fusão nuclear como opção energética para o futuro. Contudo, no seguimento da reflexão sobre o estado da arte em ciência e tecnologias nucleares, pode-se concluir que, nos planos nacional e internacional, ainda há muito por fazer no âmbito da divulgação nesta área do conhecimento.

Constata-se que existem várias organizações e instituições internacionais que disponibilizam informação ao nível das ciências e tecnologias nucleares. No entanto, essa informação não se encontra em geral organizada de forma acessível ao grande público e é apresentada em língua inglesa, o que dificulta a compreensão por parte dos alunos dos ensinos básico e secundário dos países de língua portuguesa. Para além disso, as organizações internacionais que disponibilizam informação sobre as ciências nucleares não prevêm a possibilidade de diálogo entre o público e os especialistas através da internet.

Por forma a colmatar as falhas na divulgação do nuclear propõe-se no próximo capítulo uma estratégia de comunicação que concentre num único portal os conhecimentos

que se encontram dispersos pelas diversas organizações, laboratórios e universidades. Essa informação deverá ser apresentada nas línguas portuguesa e inglesa.

CAPÍTULO 4 - NUCLIPEDIA: UMA ALTERNATIVA À COMUNICAÇÃO DO NUCLEAR

“O grande objetivo da educação não é o conhecimento mas a ação”. (Herbert Spencer)

4.1. O projeto Nuclipedia

Há 12 anos surgia na internet uma forma inovadora de divulgar informação e contribuir para o conhecimento. Com o apoio da Wikimedia Foundation, nascia a Wikipedia, que hoje conta com mais de 24 milhões de artigos, escritos por colaboradores voluntários ao redor de todo o mundo. Praticamente todos os artigos podem ser editados por aqueles que desejarem contribuir, citar fontes e referências para enriquecer a informação.

Sendo o nuclear uma área científica e tecnológica com um significativo desenvolvimento e com cada vez maior número de aplicações no nosso quotidiano, torna-se difícil mantermo-nos informados das últimas evoluções através da wikipedia. No sentido de colmatar esta fragilidade, o projeto Nuclipedia pretende implementar um portal especializado para a divulgação das tecnologias e aplicações do nuclear para fins pacíficos. Tal como em todos os produtos media wiki, qualquer utilizador registado pode comentar, propor modificações a um artigo existente, sugerir um novo tópico, perguntar, ver ou submeter vídeos, artigos e outros conteúdos que tenham interesse para esta área científica. Contudo, a Nuclipedia possui algo que muitas outras wikis não têm: uma gestão de conteúdos robusta e um processo de controlo gerido por uma equipa editorial de profissionais de reconhecida competência em tecnologias nucleares, tentando assegurar que a página web se mantenha sempre atualizada e fiável.

4.1.1. Objetivo

A Nuclipedia, a wiki do nuclear, é uma enciclopédia gratuita baseada na internet, dirigida a vários público-alvo, escrita e continuamente revista por especialistas na área. Como tal, fornece uma fonte de referências acessíveis, extensivas e atualizadas.

Todos os conteúdos da Nuclipedia serão validados por cientistas, organizações internacionais (nesta área científica), unidades de investigação – reforçando a utilidade da Nuclipedia para fins educacionais, nomeadamente no ensino em Portugal, nos países

africanos de língua oficial portuguesa (PALOPs), Brasil e Timor Leste, bem assim como para o público em geral. Os conteúdos serão classificados como básicos, de nível intermédio, e de nível avançado, cobrindo, deste modo, um largo espectro de conhecimentos prévios e de interesses dos utilizadores.

Um outro objetivo importante da Nuclipedia é facultar documentos de apoio, e mesmo apresentações preparadas, aos professores dos ensinos básico e secundário na elaboração das aulas, e na exploração das diferentes vertentes sobre as tecnologias nucleares.

Serão utilizadas as línguas portuguesa e inglesa. Pretende-se, desde modo, atingir como públicos-alvo (Figura 4.1) os estudantes, os professores, os investigadores, os jornalistas, os políticos e outros interessados dos países de língua oficial portuguesa, mas ao mesmo tempo proporcionar informação que seja acessível a nível global.

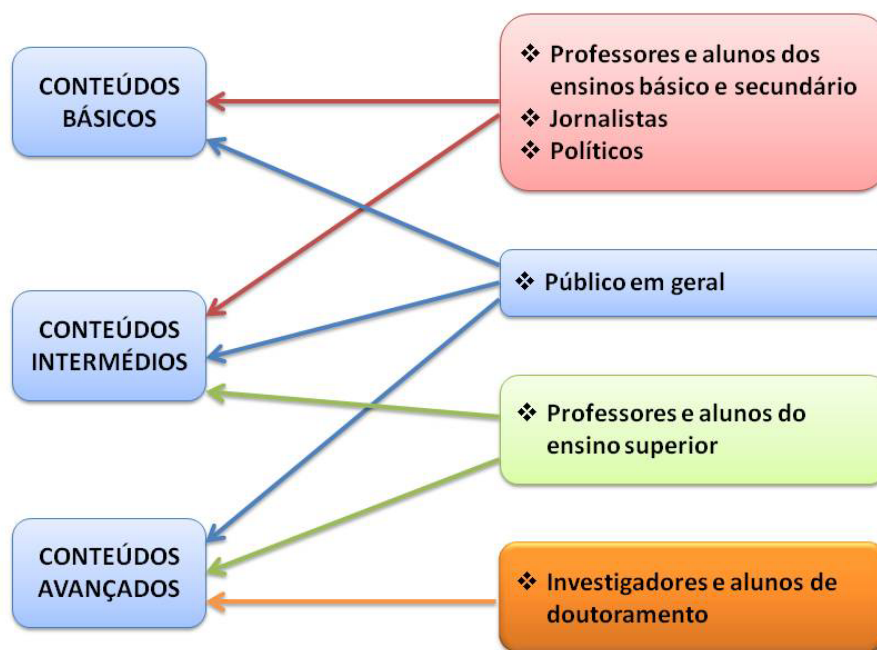


FIGURA 4.1 – Relação entre conteúdos e públicos-alvo

Os conteúdos básicos e de nível intermédio serão apresentados em ambas as línguas por forma a abranger um público mais vasto, como as escolas e a sociedade em geral. Os conteúdos de nível avançado serão apresentados exclusivamente na língua inglesa dada a dificuldade em traduzir para português alguns termos técnicos mais especializados e por ser esta a língua de trabalho da comunidade científica.

A versão inicial da Nuclipedia será produzida no Instituto Superior Técnico (IST), pelo Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), tendo como parceiros outras instituições nacionais e internacionais, de elevado reconhecimento científico em cada área.

A Nuclipedia adota o princípio colaborativo dos produtos wiki. O desenho da plataforma considera aspetos de funcionalidade como sejam o potencial de aprendizagem e a eficiência na transmissão de informação, bem assim como o conteúdo correto e completo sobre cada assunto abordado.

Com estes objetivos em mente, o formato wiki foi escolhido por satisfazer os requisitos de flexibilidade, facilidade de leitura e estrutura virada para a colaboração entre os utilizadores. De facto, os utilizadores habituaram-se de tal forma aos formatos wiki que o desenho da Nuclipedia permite um fácil ponto de entrada.

Diversas wikis especializadas começaram a aparecer nos últimos anos. A Skybrary <www.skybrary.aero>, por exemplo, é oferecida como “o ponto de referência para o conhecimento da segurança na aviação”. Outro exemplo é a Intypedia <www.intypedia.com>, a qual cobre tópicos de segurança na informação. Finalmente, refere-se a Navipedia <www.navipedia.org>, construída para centralizar o conhecimento sobre os sistemas globais de navegação por satélite, incluindo os sistemas GPS, Glonass e Galileo.

A Nuclipedia pretende ser um complemento à Wikipedia no sentido de fornecer informação mais detalhada sobre o nuclear para fins pacíficos. Para além dos vários aspetos das energias nucleares (fissão ou cisão e fusão nuclear controlada) a serem abordados na Nuclipedia, referem-se as seguintes aplicações do nuclear:

- No ambiente para o estudo de agentes poluidores;
- No restauro e património cultural (fornecendo informação sobre os elementos utilizados na produção de várias obras de arte sem as danificar);
- Na saúde, não só no diagnóstico (câmaras gama, imagiologia e ressonância magnética nucleares) e tratamento de doenças oncológicas, cardiovasculares e neurológicas, mas também na esterilização de material cirúrgico e no tratamento do lixo hospitalar;
- No controlo de qualidade;
- Na esterilização de produtos alimentares;

- Na datação por carbono 14 para materiais orgânicos (até 50 000 anos) e na datação por luminescência de materiais inorgânicos (até um milhão de anos);
- Na avaliação de recursos geológicos e produtos industriais;
- Na dessalinização da água do mar;
- Na caracterização de novos materiais.

Além disso pretende-se dar especial relevo ao projeto da fusão nuclear para a produção de energia: International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER).

4.1.2. Estrutura da Nuclipedia

À semelhança das restantes wikis, a Nuclipedia encontra-se organizada em secções chave, como sejam:

- Fundamentos das ciências nucleares (história do nuclear, reações nucleares, energia de fissão/cisão, energia de fusão);
- Aplicações do nuclear (medicina, ambiente, arqueologia e indústria);
- O nuclear e a sociedade (Perspetivas económica e segurança e proteção radiológica)
- Conteúdos para o ensino (apresentações em power point, perguntas e respostas, eventos e publicações). Estes tópicos constituem a página principal da Nuclipedia como se mostra na figura 4.2.

De salientar que os tópicos referidos foram discutidos brevemente nos capítulos 1 e 2 do presente trabalho.

Os utilizadores interessados na Nuclipedia têm acesso à barra “edit” e poderão juntar-se a discussões sobre artigos, acompanhar as modificações e atualizações num dado tópico e sobretudo incluir novos conteúdos. No topo de cada página do portal encontra-se um “hotlink” de convite para adesão como utilizador registado. Os itens a preencher são: o endereço de email e o nome. Uma vez completo o processo de adesão, o utilizador receberá instantaneamente um email de confirmação e uma senha (que pode ser posteriormente alterada). A partir deste ponto o utilizador poderá entrar na Nuclipedia.

A barra lateral esquerda que aparece em cada página interna do portal fornece ao utilizador uma gama de ferramentas e de controlos:



FIGURA 4.2 – Esquema proposto para a página principal da Nuclipedia

- Navegação: inclui ligações rápidas à página principal, modificações recentes e a biblioteca que permite acesso a artigos, documentos, livros e brochuras disponíveis online;
- Informação: fornece tópicos sobre a história, as pessoas envolvidas na construção do portal e informações de como contactar a equipa que gere a Nuclipedia;
- Ferramentas: Disponibiliza ligações da própria wiki para uma boa navegabilidade e utilidade do portal;
- Portais: Indica-se um conjunto de ligações externas a outros portais da mesma área científica;
- Trabalho em progresso: localiza esboços de artigos, recolhe pedidos de artigos e fornece instruções sobre a forma como os utilizadores registados podem comentar os artigos disponíveis.

Para pessoas que não se encontrem familiarizadas com os conteúdos de edição de uma plataforma wiki, a Nuclipedia disponibiliza um extenso manual de ajuda, acessível a partir da coluna do lado esquerdo de cada página.

4.1.3. Divulgação

Com o objetivo de publicitar a Nuclipedia, serão criados anúncios a publicar na imprensa escrita e online (jornais e revistas), nas redes sociais (facebook, twitter, linkedIn, youtube). Os diversos estabelecimentos de ensino, laboratórios, e outras instituições de I&D do país serão informados e convidados a participar através do envio de emails.

4.2. Execução do projeto

4.2.1. Identificação da entidade executora

Designação: EC'IPFN – (Equipa de Comunicação do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear).

A EC'IPFN, é uma equipa composta por profissionais (um técnico superior em comunicação de ciência, quatro investigadores em tecnologias nucleares, um informático), com vasta experiência na divulgação científica e cujas áreas de formação se complementam. São especialistas na promoção de atividades junto das escolas e outras instituições de ensino, na organização de palestras, exposições, “dias abertos” nos laboratórios e ações de formação para professores do ensino secundário, na edição de brochuras e produção de videos.

4.2.2. Parceiros do projeto

A execução do projeto só é possível com o recurso a uma vasta rede de colaborações e parcerias, quer nacionais quer internacionais, nas áreas da física, engenharia física tecnológica, tecnologias nucleares e instituições de comunicação de ciência. Referem-se abaixo as parcerias que já foi possível assegurar.

Parceiros nacionais:



Campus Tecnológico e Nuclear (CTN) Pólo de Loures do Instituto Superior

Técnico.

O CTN está vocacionado para a promoção e realização de atividades de investigação científica e de desenvolvimento tecnológico, de formação avançada, de especialização e aperfeiçoamento profissional, para além do dever de apoiar cientificamente o Governo nos domínios da segurança nuclear e da proteção radiológica.



Sociedade Portuguesa de Física (SPF)

A SPF é uma associação privada sem fins lucrativos que tem por objetivo promover, cultivar, desenvolver e divulgar em Portugal o estudo, o ensino, a investigação e as aplicações da física e das ciências com as quais estão mais diretamente relacionadas. Estas ciências são globalmente consideradas como fenómeno cultural e como agente dinamizador e condicionante do desenvolvimento económico nacional.

Parceiros internacionais:



CCFE (Culham Center for Fusion Energy), <http://www.ccf.ac.uk>

Esta instituição tem desempenhado um papel relevante em projetos de comunicação de ciência, com os objetivos de divulgar e informar o público sobre os avanços tecnológicos e científicos no desenvolvimento de uma energia mais limpa para as gerações vindouras – a fusão nuclear.

A Tabela 4.1 identifica os parceiros que já aderiram ao projeto e indica as suas funções.

Parceiros	Identificação	Funções a desempenhar no âmbito do projecto
CTN/IST	<i>Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico</i>	Produção de conteúdos
SPF	<i>Sociedade Portuguesa de Física</i>	Promoção e divulgação do projeto em revistas científicas nacionais e países africanos de língua oficial portuguesa (PALOPs).
CCFE	<i>Culham Center for Fusion Energy</i>	Produção de conteúdos (artigos, vídeos, imagens).

Tabela 4.1 - Identificação dos parceiros e suas funções no âmbito do projeto

Colaboradores nacionais e internacionais a contactar:

Ciência Viva www.cienciaviva.pt

A Ciência Viva tem como missão a promoção da cultura científica e tecnológica junto da população portuguesa, com especial ênfase nas camadas mais jovens e na população escolar dos ensinos básico e secundário.

International Atomic Energy Agency (IAEA) <http://www.iaea.org/>

Esta organização intergovernamental é a mais importante editora, a nível mundial, de publicações científicas e técnicas na área do nuclear.

European Atomic Energy Community (EURATOM)

<http://ec.europa.eu/research/energy/euratom/>

Organização que coordena e centraliza os conhecimentos e os programas de investigação dos Estados Membros com aplicações da energia nuclear para fins pacíficos.

A tabela 4.2 identifica um conjunto de potenciais colaboradores do projeto e indica as suas possíveis funções.

Colaboradores	Identificação	Funções a desempenhar no âmbito do projecto
Ciência Viva	<i>Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica</i>	Promoção e divulgação do projeto na rede nacional de centros de ciência viva, comunidade científica e instituições de ensinos básico, secundário e universitário.
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>	Revisão, validação e acreditação dos conteúdos
EURATOM	<i>Euratom (European Atomic Energy Community)</i>	Revisão, validação e acreditação dos conteúdos

Tabela 4.2 – Identificação dos possíveis colaboradores (a aguardar confirmação) e suas funções no âmbito do projeto

4.2.3. Descrição das atividades

Data de Início: Junho de 2013

Data de conclusão: Junho de 2015

Investimento Total: 25.000 euros

Planificação do projeto:

Para a implementação e prossecução do projeto este foi dividido em pacotes de tarefas (work packages) conforme apresentado na tabela 4.3. Uma pessoa/mês é equivalente a 154 horas de trabalho.

Nº WP	Nome WP	Participante principal	Pessoa/mês	Mês de início	Mês de fim
1	Gestão e Coordenação	EC'IPFN	12	M1	M24
2	Comunicação	EC'IPFN	2,4	M1	M24
3	Arquitetura do site	EC'IPFN	4,2	M1	M3
4	Coordenação Científica	CTN/IST	7,2	M3	M24
5	Avaliação e Marketing	EC'IPFN	7,2	M4	M24

Tabela 4.3 – Lista das workpackages do projeto Nuclipedia

WP1 – GESTÃO E COORDENAÇÃO (EC'IPFN)

Coordenação: EC'IPFN

Pessoa/mês participante: 12 (50%)

Mês de início: Junho de 2013

Mês de Conclusão: Junho de 2015

Objetivos

- Garantir que todas as tarefas ao longo do projecto vão ser realizadas, de acordo com a definição dos objectivos;
- Gerir o orçamento e execução do projecto;
- Dar pareceres e recomendações.

Descrição do trabalho (tasks)

:: Tarefas:

- T1 Organização de reuniões e/ou vídeo-conferências entre os diversos parceiros (stakeholders)
- T2 Gestão financeira do projecto
- T3 Assinar um acordo de compromisso entre todos os parceiros
- T4 Elaboração do relatório final do projeto

:: Resultados (Deliverables):

D1.1 – Atas das reuniões

D1.2 – Relatório de contas

D1.3 – Contrato assinado por todos os parceiros

D1.4 – Relatório final do projeto

WP2 – COMUNICAÇÃO

Coordenação: EC/IPFN

Pessoa/mês participante: 2,4 (10%)

Mês de início: Junho de 2013

Mês de Conclusão: Junho de 2015

Objetivos

- Garantir a fluidez da comunicação entre os vários parceiros do projeto, bem assim como a divulgação dos seus processos e resultados junto do público em geral.

Descrição do trabalho (tasks)

:: Tarefas:

- T1 Elaboração do Plano de Comunicação Interno
- T2 Elaboração do Plano de Comunicação Externo
- T3 Criação de contas nas redes sociais (Facebook, Twitter)
- T4 Coordenar a comunicação entre os diversos parceiros

:: Resultados (Deliverables):

- D2.1 Plano de Comunicação Interno
- D2.2 Plano de Comunicação Externo
- D2.3 Página Facebook, Conta Twitter
- D2.5 Relatórios das Interações entre parceiros
- D2.6 Conteúdos escritos e audiovisuais (textos, gráficos, fotos, vídeos, anúncios, posters, entradas nas redes sociais, press release)

WP3 – ARQUITETURA DO PORTAL

Coordenação: EC/IPFN

Pessoa/mês participante: 4,2 (2 meses 100% e 22 meses 10%)

Mês de início: Junho de 2013

Mês de Conclusão: Início de Agosto de 2013

Objetivos

- Implementar a melhor aplicação (no contexto wiki) que permita ao utilizador uma boa navegabilidade e interatividade.

Descrição do trabalho (tasks)

:: *Tarefas:*

- T1 Escolher a aplicação (wiki) mais apropriada
- T2 Instalar a aplicação
- T3 Criar um protótipo
- T4 Testar a funcionalidade
- T5 Testar o desempenho (navegabilidade)

:: *Resultados (Deliverables):*

- D3.1 Relatório da aplicação wiki
- D3.2 Manual de ajuda (help)

WP4 – COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

Coordenação: SPF

Pessoa/mês participante: 3 participantes (10% 7,2 pessoa mês)

Mês de início: Junho de 2013

Mês de Conclusão: Junho de 2015

Objetivos

- Garantir que toda a interatividade (a nível científico) está a ser bem conduzida, de modo a que todos os intervenientes estejam a contribuir para o aprofundamento do conhecimento.
- Supervisionar, verificar e validar os conteúdos científicos da nuclipedia, de forma a que estes sejam credíveis, fiáveis e corretos.

Descrição do trabalho (tasks)

:: Tarefas:

- T1 Agendar reuniões, vídeo conferências e teleconferências com todos os parceiros
- T2 Acompanhar o processo de armazenamento de conteúdos e sua validação científica
- T3 Dialogar com os parceiros científicos sobre as questões levantadas, artigos submetidos, vídeos, imagens e outros conteúdos
- T4 Selecionar os conteúdos (no nuclipedia) por categorias, isto é, básicos, intermédios e avançados.
- T5 Garantir que todos os conteúdos básicos e intermédios estão em português e inglês.

:: Resultados (Deliverables):

- D4.1 Conteúdos aprovados

WP5 – AVALIAÇÃO E MARKETING

Coordenação: EC'IPFN

Pessoa/mês participante: 3 (10/% 7,2)

Mês de início: Junho de 2013

Mês de Conclusão: Junho de 2015

Objetivos

- Avaliar a eficiência, a qualidade e o impacto do projeto (avaliação interna e externa).
- Promover a divulgação do projeto.

Descrição do trabalho (tasks)

:: Tarefas:

- T1 Promover avaliações externas
- T2 Promover avaliações internas e controlo de qualidade
- T3 Promover o marketing do projeto (anúncios na imprensa e online)
- T4 Preparar questionários online

:: Resultados (Deliverables):

- D5.1 Relatórios de avaliação externa
- D5.2 Relatórios de avaliação interna e de controlo de qualidade
- D5.3 Anúncios publicitários
- D5.4 Inquéritos

Milestones

A tabela 4.4 apresenta as marcas importantes (milestones) durante o projeto, as quais salientam a progressão dos trabalhos, assim como os seus objetivos e calendarização prevista.

Milestone nr.	Título da Milestone	Work packages envolvidas	Datas	Verificação
MS1	1ª reunião com todos os parceiros	WP1, WP2, WP3 e WP4	Mês 1	Solidez científica dos conteúdos; acreditação
MS2	Funcionamento do portal	WP1, WP2, WP3, WP4 e WP5	Mês 13	Conteúdos e a eficiência na navegabilidade pelos utilizadores
MS3	Avaliação de impactos	WP1, WP2, WP4 e WP5	Mês 19	Estado de aceitação por parte do público alvo; funcionalidade do portal; discussão de possíveis alterações.
MS4	Conclusão do projecto	WP1, WP2 e WP4	Mês 24	Indicadores de elevado, médio ou baixo impacto;

Tabela 4.4 – Lista das etapas (Milestones) a atingir durante o projeto

A figura 4.3 apresenta o diagrama de PERT (Programme Evaluation and Review Techniques), para mostrar a interligação entre os vários work packages desenvolvidos no âmbito do projeto.

O cronograma (ou diagrama de Gantt), documenta a duração dos work packages e tarefas. É uma ferramenta que fornece uma rápida visão do curso do projeto e também alguma orientação na sua gestão (Figura 4.4).

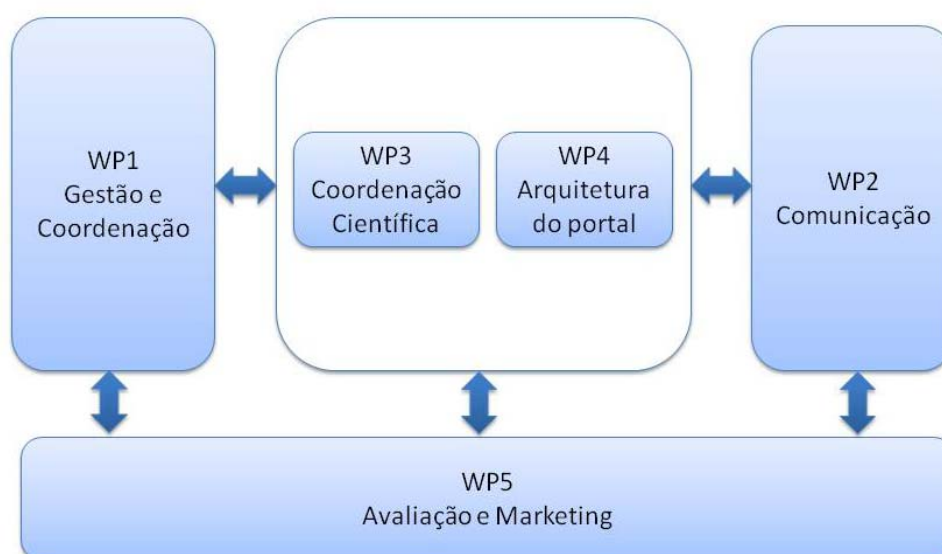


FIGURA 4.3 – Diagrama de PERT realçando a relação entre os vários pacotes de trabalho (WP)

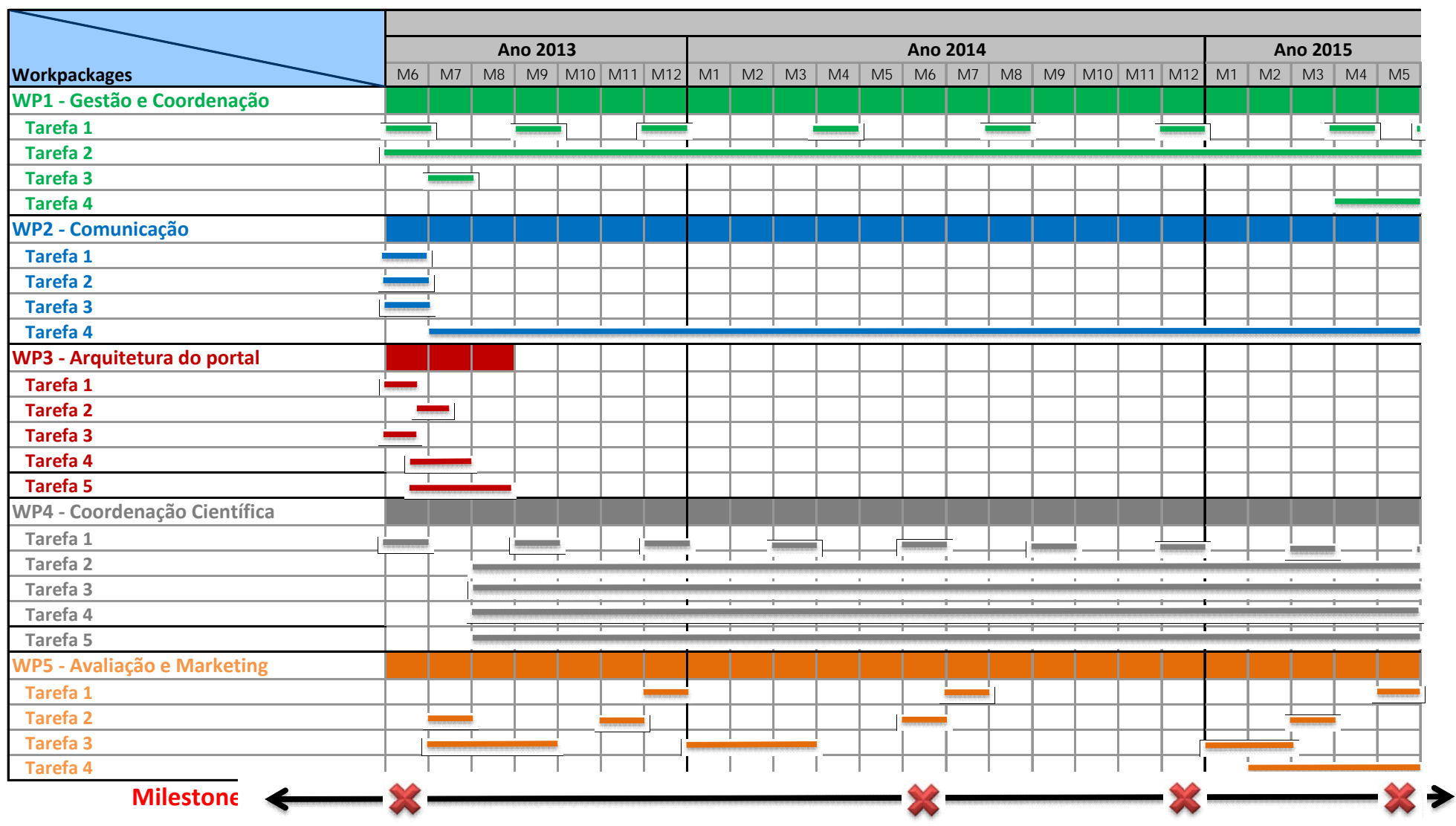


FIGURA 4.4 – Cronograma ou diagrama de Gantt do projeto Nuclipedia

Análise de riscos

Foram analisados os possíveis riscos e contratempos na execução deste projeto, nos quais se incluem os seguintes aspetos:

- Escolha errada da estrutura do portal;
- Carácter pouco apelativo e difícil navegabilidade;
- Deficiente implementação da aplicação;
- Os conteúdos mal estruturados e pouco claros, para além de poder haver atrasos na inserção e verificação dos mesmos;
- Pouca interação por parte dos vários públicos (utilizadores);
- Ausência de conteúdos simultaneamente em português e em inglês (nos níveis básico e intermédio).

Na tabela 4.5 faz-se uma análise detalhada destes riscos bem como as ações para os mitigar.

Descrição do risco	Probabilidade estimada	Impacto	Estratégia de mitigação
A escolha da estrutura do portal não é adequada ao seu bom desempenho	Baixa	Médio	Fazer um inquérito (online) aos utilizadores, para se arranjar melhores soluções
Dificuldade de navegabilidade devido a falhas da aplicação	Média	Alto	Substituição da aplicação
Falta de participação e interesse por parte dos utilizadores	Baixa	Alto	Tornar o portal mais apelativo e com os conteúdos bem diferenciados em relação ao público alvo. Adoção de novas estratégias de divulgação e publicidade
Atraso na reposição e/ou verificação dos conteúdos.	Baixa	Alto	Pressionar os responsáveis a atuarem com mais celeridade e/ou procurar novas fontes de informação
Ausência de conteúdos simultaneamente em português e inglês	Média	Médio	Contratar um tradutor

Tabela 4.5 – Antevisão e análise dos possíveis riscos do projeto

Orçamento

A tabela 4.6 mostra como o orçamento é dividido pelas diversas rubricas.

Descrição	Início	Conclusão	Regime de execução	Custo (€)
Despesas de capital	2013	2015		
Equipamento informático				2.500,00
Equipamento básico	2013	2015		2.500,00
Sub-total				5.000,00
Despesas correntes				
Telefone				500,00
Correios				500,00
Internet				500,00
Outros serviços				1.000,00
Material de escritório				1.000,00
Outros bens				750,00
Livros e revistas				600,00
Sub-total				4.850,00
Despesas com pessoal				
Coordenador				7.405,00
Cientistas				7.000,00
Informático				745,00
Sub-total				15.150,00
TOTAL				25.000,00

Tabela 4.6 – Descrição orçamental

4.3. Impacto esperado nos diversos públicos-alvo

Com o presente projeto espera-se que os vários públicos-alvo melhorem os seus conhecimentos sobre as tecnologias usadas nas diversas aplicações não-militares da energia nuclear, com ênfase na produção de energia elétrica, quer através da fissão quer através da fusão. Outras aplicações industriais, médicas e científicas são igualmente contempladas. Pretende-se ainda ajudar a acabar o mito de que o “nuclear é mau”.

De salientar que, junto dos professores e alunos do ensino secundário, o impacto da Nuclipedia deverá ser grande, na medida em que os recetores de informação podem ser

também o veículo de disseminação das tecnologias nucleares dentro e fora da escola, proporcionando assim um efeito multiplicador junto da comunidade onde estão inseridos.

Prevê-se que a Nuclipedia continue para além do período inicial de dois anos, por forma a permitir uma maior eficiência como projeto de divulgação a nível global. É também de esperar que após o referido período, este portal possibilite uma maior interação entre os cientistas e a sociedade.

CONCLUSÃO

A comunicação da ciência junto da sociedade constitui um processo em que o trabalho científico se valoriza, ao mesmo tempo que, em parte, se desmistifica e se torna acessível ao cidadão comum e aos agentes formadores das novas gerações. A autora considera que, com a proposta do projeto Nuclipedia, os diversos públicos-alvo irão usufruir de uma ferramenta mais desenvolvida na promoção do conhecimento do nuclear.

De facto, as ciências e as tecnologias nucleares têm sido comunicadas ao grande público por diversos meios, incluindo conferências, artigos, livros, revistas, exposições, visitas a laboratórios, ações de formação, televisão e internet. Contudo, estes meios, apesar de serem considerados fundamentais, podem ser complementados com um portal com mais impacto e mais acessível como o que agora se propõe: a Nuclipedia.

A Nuclipedia foi arquitetada para a transmissão de informação a vários níveis de profundidade (básico, intermédio e avançado), aglomerando assim os conhecimentos disponíveis de uma forma mais prática e atrativa para os vários públicos-alvo.

Como foi referido ao longo do trabalho, existem várias organizações e instituições internacionais que disponibilizam informação ao nível das ciências e tecnologias nucleares. Contudo, essa informação não se encontra em geral organizada de uma forma acessível ao grande público e é apresentada em língua inglesa, o que constitui uma desvantagem, nomeadamente para os alunos dos ensinos básico e secundário de língua portuguesa.

A Nuclipedia tem por objetivo principal colmatar esta falha, concentrando o conhecimento das ciências nucleares num único portal acessível ao público de língua portuguesa. No entanto, não descarta a possibilidade de ser utilizado a nível internacional pelo facto de todos os conteúdos apresentados em português se encontrarem também traduzidos para a língua inglesa. A informação de nível mais avançado foi mantida apenas em inglês visto que se prevê que as contribuições sejam elaboradas maioritariamente por especialistas estrangeiros, sendo a sua tradução difícil, demorada, e provavelmente desnecessária. Note-se que o público-alvo deste tipo de informação é constituído essencialmente por investigadores, docentes e alunos do ensino universitário, que possuem em geral um bom domínio da língua inglesa.

A estrutura do documento, em especial os dois primeiros capítulos, reflete parcialmente os conteúdos a serem incluídos na parte científica da Nuclipedia. Para além da evolução histórica das ciências nucleares, foram abordadas as aplicações da fissão e da fusão na produção de energia elétrica e outros aproveitamentos em áreas tão dispares como a medicina, a agricultura e a arqueologia. Os problemas ambientais foram também considerados.

Um dos aspetos mais interessantes da Nuclipedia é a possibilidade de diálogo entre especialistas e o público em geral. Esta vantagem não é contemplada nos portais das organizações nacionais e internacionais que se dedicam à divulgação das ciências nucleares. Prevê-se que esta característica da Nuclipedia possa ser aproveitada pelos professores de física dos ensinos básico e secundário, na elaboração de trabalhos de pesquisa e de aprofundamento dos conhecimentos nas áreas da física nuclear, energia e ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- ALLÈGRE, C. (2005). *Um pouco de ciência para todos*. Lisboa: Gradiva.
- ALVES, Eduardo (2012). *O nuclear também é amigo*, suplemento “País Positivo” do semanário Sol, edição nº 329.
- ALVES, Eduardo (2013). Comunicação privada.
- ANTUNES, J Ferreira, (2012), *Consumo mundial de energia, factos e perspectivas*, Ingenium, Set-Out., pp. 92-98, Lisboa.
- AZEVEDO, F. & Sardinha, M.G. (Coord.) (2009). *Modelos e práticas em literacia*. Lisboa: Lidel, pp. 179-194.
- BARRY, A. (2001). *On interactivity: consumers, citizens and culture*. em S. MacDonald (org.), *The Politics of Display: Museums, Science, Culture*, London, Routledge, pp. 98-117.
- BIZONY, Piers (2007). *Atom*. Icon Books, London, UK.
- CONSEJO DE EUROPA (2006). *Resolución del Consejo y de los Representantes de los Gobiernos de los Estados miembros, reunidos en el seno del Consejo, sobre el reconocimiento del valor de la educación no formal e informal en el ámbito de la juventud europea*. Diario Oficial de la Unión Europea, (2006/C 168/01).
- COSTA, A. F., P. ÁVILA, e S. MATEUS (2002). *Públicos da Ciência em Portugal*. Lisboa, Gradiva.
- COWLEY, Steven (2013). *Nuclear fusion is the 'perfect energy source'*. Special to CNN March 12. <http://edition.cnn.com/2013/03/12/opinion/fusion-nuclear-energy-future>
- COZZENS, S. E., e E. J. WOODHOUSE (1995). *Science, government and the politics of knowledge*. Em S. Jasanoff e outros (orgs.), *Handbook of Science and Technology Studies*, London, Sage, pp. 533-553.
- DEMÓCRITO, de Abdera. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2012. Disponível em <http://www.infopedia.pt> [Consult. 2012-10-09].
- DELICADO, Ana (2006). *Promoção da cultura científica nos museus em Portugal*. Sociologia, problemas e práticas, n.º 51, pp. 53-72

DES (Departamento do Ensino Secundário) (2001). *Programa de Física e Química A – 10º ano*. Lisboa: Ministério da Educação.

DGIDC (Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular) (2004a). *Programa de Física – 12º ano*. Lisboa: Ministério da Educação.

DGIDC (Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular) (2004b). *Programa de Química – 12º ano*. Lisboa: Ministério da Educação.

DURANT, J. (1998). *Introduction*. In J. Durant (org.), *Museums and the Public Understanding of Science*, London, Science Museum, pp. 7-11.

EMSLEY, John (2001). *Nature's building blocks, an A-Z guide to the elements*. Oxford University Press, Oxford, UK.

FRIEDMAN, Sharon M., (2011). *Three Mile Island, Chernobyl, and Fukushima: an analysis of traditional and new media coverage of nuclear accidents and radiation*. Bulletin of the Atomic Scientists, 67(5), 55-65.

FRIEDMAN, SM, Gorney CM, and Egolf EP (1992). *Chernobyl coverage: How the US media treated the nuclear industry*. Public Understanding of Science 1(3): 305”323.

GERTHSEN, C., Kneser, (1973). *Física*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

GREGORY, J., e S. MILLER (1998). *Science in Public: Communication, Culture and Credibility*. New York, Plenum Trade.

GUTIÉRREZ, Elena Ester *et al.* (2000). *Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear?* - Enseñanza de las Ciencias, 18 (2), 247-254.

HALL, S., Chritcher C., C. Jefferson, T., Clarke, J., e Roberts (1993). *A produção social das notícias: o ‘mugging’ nos media*. In N. Traquina (org.) *Jornalismo: Questões Teorias e Estórias*, col. Comunicação e Linguagens, Lisboa, Ed. Veja, pp. 224-248.

HOUSE OF LORDS (2000). *Science and Society: Select Committee on Science and Technology*. Third Report, London, HMSO.

IEEE Spectrum, Nov. (2011). The Post-Fukushima World. Vol. 48, nr 11.

IRWIN, A. (1998). *Ciência Cidadã: Um Estudo das Pessoas, Especialização e Desenvolvimento Sustentável*. Lisboa, Ed. Piaget.

- KRANE, K.S (1988). *Introductory nuclear physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- LEWENSTEIN, B. V. (1995). *Science and the media*. Em S. Jasanoff e outros (orgs.), *Handbook of Science and Technology Studies*, London, Sage, pp. 343-360.
- MARTIN, Charles-Noel, (1955). *A Bomba H, Princípio ou Fim?*, Livros do Brasil, Lisboa (edição francesa, Paris).
- MARTINS, Maria Isabel (2002). *Literacia científica: dos mitos às propostas*. In COELHO, Ana Cristina *et al.* (eds.). *Educação em Ciência – VII Encontro Nacional*. Faro: Escola Superior de Educação, Universidade do Algarve, 2-10.
- MCCRACKEN, Garry and Peter Stott (2005). *Fusion: the energy of the universe*. Elsevier
- MILLAR, Robin e OSBORNE, Jonathan (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: Kings College.
- MURRAY, R.L. (2001). *Nuclear energy: an Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes*. Butterworth-Heinemann.
- NSTA (National Science Teachers Association). (1990). *Science/Technology/Society: A new effort for providing appropriate science for all* (NSTA Handbook). Washington D.C.: NSTA.
- NUNES, Pedro Miguel de Sampaio (2006). *Gazeta de Física*, Vol 29, fascículo 1-2, págs. 56-64.
- OLIVEIRA, Jaime da Costa (2005). *O Reactor Nuclear Português, fonte de conhecimento*. O Mirante.
- OLIVEIRA, Jaime & Eduardo Martinho (2000). *ENERGIA NUCLEAR – Mitos e Realidades*. Coleção saber, O Mirante.
- PRUDÊNCIO, Maria Isabel (2012, 21 Dezembro). *O nuclear também é amigo*, suplemento. “País Positivo” do semanário Sol, edição nº 329.
- REGER, D., Goode, S., & Mercer, E. (1997). *Química: princípios e aplicações*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- RUBIN, David M (1987). *How the News Media Reported on Three Mile Island and Chernobyl*, *Journal of Communication* 37(3), Summer.
- SANTOS, Eduarda. (1994). *Área escola/escola – Desafios interdisciplinares*. Lisboa: Livros Horizonte.

SCHMIDT, Luisa (2003). *Ambiente no ecrã: emissões e demissões no serviço público televisivo*. Imprensa de Ciências Sociais.

U.S. Department of Energy (2007). Office of Civilian Radioactive Waste Management. *What are spent nuclear fuel and high-level radioactive waste?*

<http://www.ocrwm.doe.gov/factsheets/doeymp0338.shtml>

VALENTE, Odete. (1996). O ensino das ciências em Portugal. *Revista de Educação*, 6 (1), 103-104.

VARANDAS, Carlos (2011). *Tecnologias nucleares para a produção de energia elétrica*. Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

VARANDAS, Carlos, Aníbal Traça de Almeida, António Vallêra, Eduardo Oliveira Fernandes, Manuel Collares Pereira e Pedro Coelho (2006). *As Energias do Presente e do Futuro*. Gazeta de Física, 29, fascículo 1-2.

VAZ, Pedro (2012). *O nuclear também é amigo*, suplemento “País Positivo” do semanário Sol, edição nº 329.

WELLINGTON, Jerry (1991). *Newspaper science, school science: friends or enemies?* International Journal of Science Education, 13 (4), 363-372.

Websites

- Agência International de Energia Atómica (AIEA)

<http://www.iaea.org>

- World Nuclear Association

<http://www.world-nuclear.org>

- Centrais nucleares na Europa: The European Nuclear Society

<http://www.euronuclear.org/info/maps.htm>

- Comissão Europeia – Direção Geral dos Transportes e Energia (DGTREN)

<http://ec.europa.eu/geninfo/query/resultaction.jsp>

- European Fusion Development Agreement

<http://www.efda.org>

- Projeto ITER

<http://www.iter.org>

- Website da European Fusion Information Network

<http://www.fusion-eur.org>

- Website da Organisation for Economic Co-operation and Development

<http://www.oecd.org>

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Átomo de hélio	9
FIGURA 1.2 – Reação de cisão nuclear em cadeia	11
FIGURA 1.3 – Reação de fusão com deutério e trítio	13
FIGURA 1.4 – Ilustração da perda de massa ocorrida na reação de fusão da figura 1.3	14
FIGURA 1.5 – Esquema de uma central nuclear convencional	15
FIGURA 1.6 – Países do mundo que usam energia nuclear	16
FIGURA 1.7 – Configuração esquemática de um tokamak	17
FIGURA 1.8 – Evolução dos tokamaks	18
FIGURA 2.1 – Crescimento do consumo mundial de energia	25
FIGURA 2.2 – Fontes atuais de energia	26
FIGURA 2.3 – Interior e vista panorâmica da máquina europeia de fusão – JET	28
FIGURA 2.4 – Gravidade dos eventos na escala INES	33
FIGURA 3.1 – Palestras para alunos dos ensinos básico e secundário	44
FIGURA 3.2 – A cúpula do Sol no hall de uma escola em Oxford no Reino Unido	48
FIGURA 3.3 – Visita de estudantes ao laboratório do CCFE	49
FIGURA 3.4 – Camião de transporte da “Expo Fusion”	50
FIGURA 4.1 – Relação entre conteúdos e públicos-alvo	54
FIGURA 4.2 – Esquema proposto para a página principal da Nuclipedia	57
FIGURA 4.3 – Diagrama de PERT realçando a relação entre os vários pacotes de trabalho (WP)	67
FIGURA 4.4 – Cronograma ou diagrama de Gantt do projeto Nuclipedia	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Algumas características das reações nucleares versus reações químicas	10
Tabela 1.2 – Resíduos resultantes da produção de 1 MW de eletricidade durante um ano	18
Tabela 1.3 – Fissão ou cisão versus fusão: vantagens e desvantagens	19
Tabela 4.1 – Identificação dos parceiros e suas funções no âmbito do projeto	59
Tabela 4.2 – Identificação dos possíveis colaboradores (a aguardar confirmação) e suas funções no âmbito do projeto	60
Tabela 4.3 – Lista das workpackages do projeto Nuclipedia	61
Tabela 4.4 – Lista das etapas (Milestones) a atingir durante o projeto	67
Tabela 4.5 – Antevisão e análise dos possíveis riscos do projeto	69
Tabela 4.6 – Descrição orçamental	70

ANEXOS

Anexo I – Quadro periódico dos elementos e tabela internacional dos pesos atômicos (Reger, 1997)

	1 IA																	18 VIIIA
1	1 H 1,0079	2 He 4,0026											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	
2	3 Li 6,941	4 Be 9,0122											5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,0067	8 O 15,9994	9 F 18,9984	10 Ne 20,1797
3	11 Na 22,9898	12 Mg 24,3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 Al 26,9815	14 Si 28,0855	15 P 30,9738	16 S 32,066	17 Cl 35,4527	18 Ar 39,948
4	19 K 39,0983	20 Ca 40,078	21 Sc 44,9559	22 Ti 47,88	23 V 50,9415	24 Cr 51,9961	25 Mn 54,9380	26 Fe 55,847	27 Co 58,9332	28 Ni 58,69	29 Cu 63,546	30 Zn 65,39	31 Ga 69,723	32 Ge 72,61	33 As 74,9216	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,4678	38 Sr 87,62	39 Y 88,9059	40 Zr 91,224	41 Nb 92,9064	42 Mo 95,94	43 Tc (98)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,9055	46 Pd 106,42	47 Ag 107,8682	48 Cd 112,411	49 In 114,82	50 Sn 118,710	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,9045	54 Xe 131,29
6	55 Cs 132,9054	56 Ba 137,327	57 *La 138,9055	72 Hf 178,49	73 Ta 180,9479	74 W 183,85	75 Re 186,207	76 Os 190,2	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,9665	80 Hg 200,59	81 Tl 204,3833	82 Pb 207,2	83 Bi 208,9804	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 †Ac (227)	104 Unq (261)	105 Unp (262)	106 Unh (263)	107 Uns (262)	108 Uno (265)	109 Une (266)									

Metais

Metalóides

Não metais

* Série dos Lantanídeos

58 Ce 140,115	59 Pr 140,9076	60 Nd 144,24	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,965	64 Gd 157,25	65 Tb 158,9253	66 Dy 162,50	67 Ho 164,9303	68 Er 167,26	69 Tm 168,9342	70 Yb 173,04	71 Lu 174,967
---------------------	----------------------	--------------------	-------------------	--------------------	---------------------	--------------------	----------------------	--------------------	----------------------	--------------------	----------------------	--------------------	---------------------

† Série dos Actínídeos

90 Th 232,0381	91 Pa 231,0359	92 U 238,0289	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)
----------------------	----------------------	---------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Nota: Os valores das massas atômicas são os aprovados pela IUPAC em 1987 (até 4 casas decimais). Para alguns elementos são dados valores mais exactos na página ao lado.

Tabela Internacional de Pesos Atômicos*†

Nome	Símbolo	Número Atômico	Peso Atômico	Nome	Símbolo	Número Atômico	Peso Atômico
Actínio	Ac	89	(227)	Lutécio	Lu	71	174,967
Alumínio	Al	13	26,981539	Magnésio	Mg	12	24,3050
Amerício	Am	95	(243)	Manganês	Mn	25	54,93805
Antimônio	Sb	51	121,75	Mendelévio	Md	101	(258)
Árgon	Ar	18	39,948	Mercúrio	Hg	80	200,59
Arsênio	As	33	74,92159	Molibdênio	Mo	42	95,94
Astato	At	85	(210)	Neodímio	Nd	60	144,24
Azoto	N	7	14,00674	Néon	Ne	10	20,1797
Bário	Ba	56	137,327	Neptúnio	Np	93	(237)
Berílio	Be	4	9,012182	Nióbio	Nb	41	92,90638
Berquélio	Bq	97	(247)	Níquel	Ni	28	58,69
Bismuto	Bi	83	208,98037	Nobélio	No	102	(259)
Boro	B	5	10,811	Ósmio	Os	76	190,2
Bromo	Br	35	79,904	Ouro	Au	79	196,96654
Cádmio	Cd	48	112,411	Oxigênio	O	8	15,9994
Cálcio	Ca	20	40,078	Paládio	Pd	46	106,42
Califórnio	Cf	98	(251)	Platina	Pt	78	195,08
Carbono	C	6	12,011	Plutônio	Pu	94	(244)
Cério	Ce	58	140,115	Polônio	Po	84	(209)
Césio	Cs	55	132,90543	Potássio	K	19	39,0983
Chumbo	Pb	82	207,2	Praseodímio	Pr	59	140,90765
Cloro	Cl	17	35,4527	Prata	Ag	47	107,8682
Cobalto	Co	27	58,93320	Promécio	Pm	61	(145)
Cobre	Cu	29	63,546	Protactínio	Pa	91	231,03588
Cripton	Kr	36	83,80	Radão (Rádon)	Rn	86	(222)
Crômio	Cr	24	51,9961	Rádio	Ra	88	(226)
Cúrio	Cm	96	(247)	Rénio	Re	75	186,207
Disprósio	Dy	66	162,50	Ródio	Rh	45	102,90550
Einsteinio	Es	99	(252)	Rubídio	Rb	37	85,4678
Enxofre	S	16	32,066	Ruténio	Ru	44	101,07
Érbio	Er	68	167,26	Samário	Sm	62	150,36
Escândio	Sc	21	44,955910	Selênio	Se	34	78,96
Estanho	Sn	50	118,710	Silício	Si	14	28,0855
Estrôncio	Sr	38	87,62	Sódio	Na	11	22,989768
Európio	Eu	63	151,965	Tálio	Tl	81	204,3833
Férmio	Fm	100	(257)	Tântalo	Ta	73	180,9479
Ferro	Fe	26	55,847	Tecnécio	Tc	43	(98)
Flúor	F	9	18,9984032	Telúrio	Te	52	127,60
Fósforo	P	15	30,973762	Térbio	Tb	65	158,92534
Frâncio	Fr	87	(223)	Titânio	Ti	22	47,88
Gadolínio	Gd	64	157,25	Tório	Th	90	232,0381
Gálio	Ga	31	69,723	Túlio	Tm	69	168,93421
Germânio	Ge	32	72,61	Tungstênio	W	74	183,85
Háfnio	Hf	72	178,49	Unilénio	Une	109	(266)
Hélio	He	2	4,002602	Unil-héxio	Unh	106	(263)
Hidrogênio	H	1	1,00794	Unilóctio	Uno	108	(265)
Hólmio	Ho	67	164,93032	Unilpêntio	Unp	105	(262)
Índio	In	49	114,82	Unilquádio	Unq	104	(261)
Iodo	I	53	126,90447	Unilséptio	Uns	107	(262)
Irídio	Ir	77	192,22	Urânio	U	92	238,0289
Itérbio	Yb	70	173,04	Vanádio	V	23	50,9415
Ítrio	Y	39	88,90585	Xénon	Xe	54	131,29
Lantânio	La	57	138,9055	Zinco	Zn	30	65,39
Laurêncio	Lr	103	(260)	Zircônio	Zr	40	91,224
Lítio	Li	3	6,941				

* Baseados na massa atômica relativa de $^{12}\text{C}=12$

† Os valores desta tabela aplicam-se aos elementos que existem em materiais de origem terrestre e a certos elementos artificiais. Os valores entre parêntesis são os números de massa do isótopo de período maior.

Anexo II – Escala Internacional de Ocorrências Nucleares (INES)

(Adaptado, Oliveira, 2000)

Nível DESIGNAÇÃO	Natureza das ocorrências
ACIDENTES 7 ACIDENTE MUITO GRAVE	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuga de produtos radioativos de vida curta e longa (quantidades equivalentes a várias dezenas de milhares de terabecquerel de iodo-131). Possibilidade de ocorrência de efeitos agudos na saúde; efeitos retardados na saúde atingindo uma região extensa, que pode envolver mais do que um país; consequências ambientais a longo prazo.
6 ACIDENTE GRAVE	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuga de produtos radioativos (quantidades equivalentes a alguns milhares de terabecquerel de iodo-131). A ativação integral do plano de emergência é provavelmente necessária para limitar efeitos graves na saúde.
5 ACIDENTE COM RISCOS FORA DA INSTALAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuga de produtos radioativos (quantidades equivalentes a algumas centenas de terabecquerel de iodo-131). A ativação parcial do plano de emergência é provavelmente necessária para minimizar os efeitos na saúde. ➤ Dano severo na instalação.
4 ACIDENTE SEM RISCOS IMPORTANTES FORA DA INSTALAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuga de produtos radioativos causando, no exterior e ao indivíduo mais exposto, uma dose da ordem de alguns milisievert. Em geral, é pouco provável que seja necessário adotar medidas de proteção fora da instalação, exceto um eventual controle de alimentos. ➤ Dano significativo na instalação. ➤ Irradiação de um ou mais trabalhadores, implicando muito provavelmente redução significativa da esperança de vida.
INCIDENTES 3 INCIDENTE GRAVE	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuga de produtos radioativos causando, no exterior e ao indivíduo mais exposto, uma dose da ordem de décimos de milisievert. A adoção de medidas de proteção fora da instalação pode não ser necessária. ➤ Ocorrência no interior da instalação de que resulte doses para os trabalhadores suficientes para produzir efeitos agudos na saúde e/ou uma vasta contaminação radioativa. ➤ Ocorrência em que uma falha adicional de sistemas de segurança poderia conduzir a condições acidentais ou a uma situação em que seria impossível evitar um acidente se certos iniciadores surgissem.
2 INCIDENTE	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ocorrência que reduz significativamente as margens de segurança sem as anular. ➤ Exposição dos trabalhadores excedendo os limites anuais autorizados e/ou contaminação de áreas normalmente limpas.
1 ANOMALIA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perturbação em que há violação de limites e condições operacionais mas sem por em risco a segurança.

Anexo III – Objetos de ensino e objetivos de aprendizagem

Objetos de ensino	Objetivos de aprendizagem
<ul style="list-style-type: none">• Processo de formação de alguns elementos químicos no Universo (as estrelas como “autênticas fábricas” nucleares);• Algumas reações nucleares e suas aplicações, fusão nuclear do H e do He; síntese nuclear do C e do O; fissão nuclear.	<ul style="list-style-type: none">• Descrever o processo de formação de alguns elementos químicos no Universo através de reações de fusão nuclear e por choques de partículas de massas, energias e origens diferentes;• Distinguir, de forma simplificada, reação nuclear de reação química;• Distinguir reação nuclear de fusão de reação nuclear de fissão;• Caracterizar as reações nucleares de fusão para a síntese nuclear do He, do C e do O;• Associar fenómenos nucleares a diferentes contextos de utilização (por exemplo, produção de energia elétrica, datação, meios de diagnóstico e tratamento clínicos);• Interpretar a formação de elementos mais pesados à custa de processos nucleares no interior das estrelas.

Tabela 1 – 10º ano – Física e Química A: objetos de ensino e objetivos de aprendizagem (DES)

Objetos de ensino	Objetivos de aprendizagem
<ul style="list-style-type: none"> Energia de ligação nuclear e estabilidade dos núcleos; A estabilidade/instabilidade nuclear e o decaimento radioativo; Emissões radioativas: partículas alfa e beta e radiações gama; Período de decaimento ou tempo de meia vida; Fontes naturais e artificiais de radioatividade; Datação e radioatividade; Medidores (detetores) de radioatividade; Reações nucleares: a fusão nuclear e a fissão (cisão) nuclear; Equivalência massa-energia e as reações nucleares. 	<ul style="list-style-type: none"> Associar o início da ciência nuclear a Albert Einstein quando reconheceu a equivalência da massa e da energia através da relação matemática $E = mc^2$; Identificar diferentes tipos de transformações nucleares; Relacionar a instabilidade de um núcleo de um átomo com a relação entre o número de neutrões e o número de prótons desse núcleo; Interpretar o decaimento nuclear como a transformação de um núcleo noutro núcleo por emissão de partículas α ou β e radiação γ; Associar a emissão de partículas β aos núcleos que contêm muito maior número de neutrões do que prótons e a emissão de partículas α aos núcleos que contêm relações próximas do número de neutrões e de prótons; Associar “tempo de meia vida” ao intervalo de tempo necessário para que, numa dada amostra, o número de partículas da espécie radioativa, se reduza a metade; Referir que o tempo de meia vida para o carbono-14 é cerca de seis mil anos e que o produto do decaimento é o azoto-14; Reconhecer que a propriedade do carbono-14 decair lentamente é utilizada na datação de objetos arqueológicos; Interpretar a grande quantidade de energia envolvida numa reação nuclear (fusão ou fissão), em termos da variação de massa nela envolvida, de acordo com a expressão $\Delta E = \Delta m c^2$; Reconhecer que o conhecimento sobre radioatividade trouxe enormes benefícios a par de enormes preocupações, resultantes da sua utilização para fins não pacíficos e da ocorrência de acidentes.

Tabela 2 – 12º ano - Química: objetos de ensino e objetivos de aprendizagem (DGIDC)

Objetos de ensino	Objetivos de aprendizagem
<ul style="list-style-type: none"> Energia de ligação nuclear e estabilidade dos núcleos; Processos de estabilização dos núcleos: decaimento radioativo; Propriedades das emissões radioativas (alfa, beta e gama); Lei do decaimento radioativo; Período de decaimento (tempo médio de vida); Atividade de uma amostra radioativa; Fontes naturais e artificiais de radioatividade; Efeitos biológicos da radioatividade; Dose de radiação absorvida e dose equivalente biológica; Detetores de radiação ionizante; Aplicações da radiação ionizante; Reações nucleares: fusão nuclear e cisão nuclear. 	<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer, através da equivalência entre massa e energia, que a massa total de um núcleo é inferior à massa dos seus nucleões; Associar a um núcleo uma dada energia de ligação; Reconhecer a existência de núcleos instáveis que se formam espontaneamente e relacioná-la com a energia de ligação desses núcleos; Associar a emissão de partículas α, β ou de radiação γ a processos de decaimento radioativo; Reconhecer a existência de radiação ionizante do tipo eletromagnético e corpuscular; Caraterizar os vários tipos de emissão radioativa, seja na forma de radiação ou corpuscular; Reconhecer a conservação da carga total e do número de nucleões numa reação nuclear; Indicar e aplicar a lei exponencial de decaimento radioativo; Definir tempo médio de vida de uma amostra radioativa e relacioná-la com a constante de decaimento; Associar a atividade de uma amostra radioativa à rapidez de desintegração e indicar a unidade SI; Definir dose de radiação absorvida e respetiva unidade SI; Definir dose-equivalente biológica e respetiva unidade SI; Identificar fontes naturais e artificiais de radiação ionizante; Identificar detetores de radiação ionizante; Indicar efeitos da radiação ionizante nos seres vivos; Avaliar as vantagens e desvantagens da radiação ionizante; Descrever e interpretar o processo de fusão nuclear; Descrever e interpretar o processo de cisão nuclear; Referir vantagens e desvantagens das aplicações da energia nuclear.

Tabela 3 – 12º ano - Física: objetos de ensino e objetivos de aprendizagem (DGIDC)

Anexo IV – Dados relevantes

A energia nuclear está baseada em ciência que pode ser classificada como clássica (evolução de estudos de Física e de Química) ou como moderna (investigação das estruturas dos átomos e dos núcleos) (Varandas, 2011).

- 1879 - Crookes conseguiu a ionização de um gás através de uma descarga elétrica.
- 1897 - Thomson identificou o eletrão como a partícula carregada responsável pela eletricidade.
- 1895 - Roentgen descobriu os raios – X provenientes de um tubo de descarga.
- 1896 - Becquerel descobriu a radioatividade do urânio.
- 1898 - Pierre e Marie Curie isolaram um novo elemento radioativo: o rádio.
- 1905 - Einstein estabeleceu a equivalência entre massa e energia.
- 1911 - Rutherford chamou a atenção para o aquecimento produzido pelo decaimento do rádio.
- 1917 - Rutherford dividiu um átomo.
- 1919 - Rutherford descobriu que transmutações nucleares podem ser induzidas num núcleo.
- 1932 - Chadwick descobriu o neutrão através da interpretação de experiências realizadas em 1930 por Bothe e Becker que consistiam no bombardeamento de berílio por partículas α .
 - Lawrence desenvolveu o ciclotrão, a primeira máquina para acelerar partículas carregadas.
 - Enrico Fermi bombardeou urânio com neutrões.
- 1934 - Irene e Joliot Curie reportaram a descoberta da radioatividade artificial, através da criação de novos isótopos pela injeção de partículas em núcleos

de boro, magnésio e alumínio.

- 1939
 - Hahn e Strassmann obtiveram as primeiras reações de fissão nuclear pelo bombardeamento de urânio por um neutrão e pela análise dos produtos das reações. Frish and Meitner explicaram esta reação a que chamaram fissão.
 - Szilard, Wigner, Sechs and Einstein sugeriram ao Presidente Roosevelt a possibilidade de construir uma bomba atômica baseada em urânio.
 - Fermi conseguiu a primeira reação em cadeia.
- 1941
 - Seaborg descobriu o plutônio.
- 1942
 - Fermi e Szilard criaram, nos Estados Unidos, o primeiro reator nuclear feito pelo Homem: Chicago Pile-1.
- 1945
 - Primeiros testes das bombas atômicas em Alamogordo, no Novo México.
 - Lançamento das bombas atômicas sobre pelos EUA Hiroshima e Nagasaki.
- 1951
 - Primeira geração de eletricidade num reator experimental, em ARCO, no reator EBR-1.
 - Andrei Sakharov e Igor Tamm conceberam o dispositivo designado por tokamak.
- 1952
 - Lançamento da primeira bomba de hidrogénio (bomba H) pelos EUA.
- 1954
 - A URSS injetou a primeira energia elétrica (5MW) nas redes gerada na central nuclear de Obninsk.
- 1955
 - Fermi e Szilard registaram a patente de um reator nuclear.
 - Realização da primeira conferência “Átomo para a Paz”, em Genebra.
- 1956
 - A central nuclear de Calder Hall, em Sellafield, na Inglaterra, é a primeira central comercial no mundo (50 MW).

- 1957
 - Criação da European Atomic Energy Community (EURATOM) e da International Atomic Energy Agency (IAEA).
 - Início da operação da primeira central nuclear nos Estados Unidos, o Reactor Shippingport, na Pensylvania.
- 1978
 - Início da construção do tokamak JET.
- 2007
 - Início da construção do tokamak ITER.